**Filipa Cabral Vieira Oliveira Varelas**

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

# Contribuição para o estudo de sistemas de baixo custo para tratamento de água a implementar em zonas economicamente desfavorecidas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Professora Doutora Maria Gabriela Lourenço da Silva Féria de Almeida

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Manuel Fernandes Rodrigues
Arguente: Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa

**Novembro, 2014**

**AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar a minha gratidão à minha orientadora, Profª Doutora Maria Gabriela Lourenço da Silva Féria de Almeida, por ter aceitado supervisionar a minha dissertação, e pela disponibilidade mostrada ao longo do desenvolvimento deste meu trabalho. A sua confiança, ajuda e apoio foram fundamentais.

A uma das autoras do projeto independente "Brasil das Águas", Margi Moss, quero expressar ainda, os meus profundos agradecimentos, pela sua disponibilidade e relevante informação cedida, de crucial importância, para a elaboração desta dissertação e que, sem a qual, me atrevo a dizer, não teria sido possível escrevê-la.

Estou igualmente grata à minha família e amigos. Aos meus pais, pelo apoio, ajuda e sugestões na melhoria do meu trabalho e, não menos importante, por serem uma referência na minha vida. Aos meus amigos, pela constante compreensão e por terem estado sempre presentes, encorajando-me na realização da dissertação.

# RESUMO

A atual crise mundial da água está relacionada, entre outros fatores, com a sua escassez, qualidade e distribuição desigual. No caso do Brasil, apesar de existirem regiões com elevada disponibilidade hídrica, nomeadamente na região hidrográfica da Amazónia, parte da população, sobretudo a mais vulnerável em termos económicos, não tem acesso aos serviços básicos de abastecimento de água que permitam o seu fornecimento mínimo para usos diretos.

Este trabalho teve como principal objetivo, a apresentação de sistemas simplificados de tratamento de água, adequados ao contexto socioeconómico das populações a abastecer. Para o efeito, foram selecionados três estudos de caso no Brasil: Rio Juruena, Lago Piratuba e Rio Nhamundá, com diferentes tipologias de qualidade de água, servindo, respetivamente, às populações de Campos de Júlio, Pracuúba e Faro.

Com base no estudo efetuado, concluiu-se que o rio Juruena apresenta contaminação microbiológica, necessitando apenas da operação de desinfeção. O Lago Piratuba, além de contaminação microbiológica, apresenta valores de turvação de 57 NTU, superiores aos valores máximos permitidos pela legislação, encontrando-se hipereutrofizado, com índice de estado trófico de 192 µg Fósforo total/l, necessitando das etapas de coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfeção. O rio Nhamundá apresenta valores de contaminação microbiológica e valores de concentração de arsénio de 0,04 mg/l, valores superiores ao limite máximo imposto pela legislação, necessitando de etapas que permitam a remoção deste elemento, assim como a etapa de desinfeção. Os sistemas de tratamento de água apresentados em cada estudo de caso teriam, não só de garantir a qualidade de água mínima para usos diretos, mas também, necessitariam de ser viáveis e sustentáveis a nível económico e social.

Após a seleção e descrição dos sistemas de tratamento de água simplificados, tendo em consideração o custo unitário de cada um, a caraterização sócio-económica da população e a caraterização climática da região, foram selecionados os cenários económico-energéticos mais adequados para, posteriormente, serem propostas estratégias de simulação de um projeto piloto a desenvolver em cada comunidade. Deste modo, no caso da comunidade de Campos de Júlio, foi escolhido o cenário $C_{4A}$, utilizando o agente desinfetante Waterguard®, como sendo a linha de tratamento de água mais adequada. No caso da população de Pracuúba, foi escolhido o cenário $C_{3B}$, utilizando o agente coagulante *Moringa Oleífera*, o filtro Hydraid® e o agente desinfetante Waterguard®. Por ultimo, no caso da população de Faro, foi selecionado o cenário $C_{4Cc}$, recorrendo ao filtro Kanchan® e ao produto Waterguard®.

**Termos chave:** Crise mundial da água, zonas economicamente desfavorecidas, região hidrográfica da Amazónia, sistemas simplificados de tratamento de água, cenários económico-energéticos

# ABSTRACT

The global water crisis is related, among other factors, with their scarcity, quality and unequal distribution. In Brazil, although there are regions with high water availability, (particularly in the Amazon hydrographic region), part of the population, especially the most vulnerable in economic terms, has no access to basic services supply capable of providing minimally safe water. In order to present simplified water treatment systems, appropriate to the socio-economic situation of the people to supply, three studies of case were selected in Brazil: Juruena River, Piratuba Lake and Nhamundá River, with different grades of water, serving, respectively, the population of Campos de Júlio, Pracuúba and Faro.

Based on the current study, it was concluded that Juruena River has microbiological contamination, requiring only the operation of disinfection. Piratuba Lake, in addition to microbiological contamination, has values of turbidity of 57 NTU, above the limit imposed by law and with a trophic state index of total phosphorus 192µg /l. In this case, it is required the coagulation/ flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection steps. The Nhamundá river has values of microbiological contamination, and an arsenic concentration of 0.04 mg/l, higher than the maximum limit imposed by legislation, requiring steps to enable the removal of these elements. The water treatment systems on each case study have to guarantee a minimum water quality for direct use and also need to be viable and sustainable at an economic and social level.

After selecting these sistems, taking into account the unit cost of each, the socio-economic characterization of population and climate characterization of the region, the most appropriate economical and energetic scenarios were selected to simulate strategies proposed to a pilot project to develop in each community. Thus, in case of Campos de Júlio community, it was chosen $C_{4A}$ scenario, using the disinfecting agent Waterguard®, as the line of treatment most suitable water. In case of population Pracuuba, $C_{3b}$ scenario was chosen, using the coagulant *Moringa Oleifera*, the Hydraid® filter and disinfecting agent Waterguard®. Finally, in case of the population of Faro, $C_{4Cc}$ scenario was selected, using the Kanchan® filter and Waterguard® product.

**Keywords**: Global water crisis, economical vulnerable regions, Amazonic hydrographic region, simplified water treatment systems, economical and energetic scenarios

# ABREVIATURAS

AA- Alumina Ativada

ANA- Agência Nacional das Águas

BFA- Biofiltros lentos de areia

CAESA- Companhia de Água e Esgoto do Amapá

CAG- Carvão ativado granulado

CAP- Carvão ativado em pó

CAWST- *Centre for Affordable Water and Sanitation Technology*

CDC- *Centers for Disease Control and Prevention* (Centro de Prevenção e Controlo de Doenças americano)

Ch- Carga hidráulica, $m^3/m^2.h$

CONSANPA- Companhia de Saneamento do Pará

ENPHI- *Environment and Public Health Institute* (Instituto do Ambiente e Saúde Publica)

ENPHO- *Environment and Public Health Organization* (Organização Ambiental e de Saúde Publica)

EPA- *Environmental Protection Agency*

ETA- Estação de Tratamento de Água

ETAR- Estação de Tratamento de Água Residual

G- Gradiente de velocidade, $s^{-1}$

HYSTRA- *Hybrid Strategies Consulting*

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH- Índice de Desenvolvimento Humano

IET- Índice de Estado Trófico

IOSI- Instalação de Osmose Inversa Solar

KAF- *Kanchan Arsenic Filter* (Filtro Kanchan)

MDG- *Millenium Development Goals* (Objetivos de Desenvolvimento do Milénio)

MDS- Ministério do Desenvolvimento Social e do Combate à Fome

MIT- *Massachusetts Institute Technology* (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)

MO- Matéria Orgânica

NF- Nanofiltração

OI- Osmose Inversa

OMS- Organização Mundial de Saúde

ONG- Organização Não Governamental

ONU- Organização das Nações Unidas

PEAD- Polietileno de Alta Densidade

PFP- *Potters for Peace*

PNUD- Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas

PSI- *Populational Service International* (Serviços de População Internacional)

PTC- *Parabolic Trough Concentrator*

PV- Painéis fotovoltaicos

PWW- *Pure Water for the World*

RH- Região Hidrográfica

SANECAP - Companhia de Saneamento da Capital

SER- Responsabilidade Social das Empresas

SODIS – *Solar water desinfection* (Desinfecção solar da água)

STAAR- Sistemas de Tratamento e Armazenamento de Água utilizados a nível Residencial

SBCTA- Sistema de Baixo Custo para Tratamento de Água

THM- Trihalometanos

UF- Ultrafiltração

UFAP- Universidade Federal de Amapá

UFMT- Universidade Federal de Mato Grosso

UFPA- Universidade Federal de Pará

UNESCO- *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura)

UNICEF- *United Nations Children's Fund* (Fundo das Nações Unidas para a Infância)

USAID- *United States Agency for International Development* (Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional)

UV- *Ultraviot radiation* (Radiação ultravioleta)

VAT- *Value Added Tax* (taxa de valor acrescentado)

VMP- Valor Máximo Permitido

WHO- *World Health Organization*

WMO- *Word Metereologic Organization* (Organização Mundial de Metereologia)

**Símbolos**

$\mu$ - Viscosidade dinâmica da água, N.s/m$^2$

γ – Peso específico da água

# ÍNDICE DE MATÉRIAS

# ÍNDICE DE FIGURAS

# ÍNDICE DE TABELAS

# 1. INTRODUÇÃO

Cerca de três quartos da superfície terrestre é ocupada por água com 97% distribuída pelos mares e oceanos e 3% correspondente a água doce. Contudo, destes 3%, apenas 1% representa a água disponível para consumo humano (WMO- *Word Metereologic Organization*, 1997)

Existem regiões que, apesar de terem uma elevada disponibilidade hídrica, não apresentam níveis de qualidade mínima para consumo humano, podendo causar vários problemas de saúde à população local.

A crise mundial da água encontra-se fortemente relacionada com a distribuição desigual deste recurso pelas classes sociais, em que, segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (2006) a população com menor capacidades económicas é a mais afetada com a falta de acesso a água com uma qualidade mínima para consumo direto. Entre outros fatores, esta problemática deve-se ao facto de muitas zonas não terem condições económicas para implementar sistemas de tratamento de água, ou a própria população não ter meios monetários para pagar as taxas que este tipo de serviço implica. A distribuição desigual da água pelas classes sociais ocorre, principalmente, em regiões pertencentes aos países em desenvolvimento.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF- *United Nations Children's Fund*) têm recomendado abordagens alternativas, no intuito de acelerar a diminuição das doenças associadas à falta de acesso à água potável (WHO- *World Health Organization*, 2012).

São várias as tecnologias simples de tratamento de água que podem ser implementadas em zonas carenciadas, nas quais a escolha do sistema mais adequado depende não só da qualidade da água a tratar e das tecnologias existentes mas também e, essencialmente, da sustentabilidade económica destes na zona a abastecer. O sucesso de projetos de implementação deste tipo de sistemas alternativos de baixo custo passa pela caraterização da qualidade da água e, não menos importante, pela análise económica e social da população a servir.

# 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo:

- Contribuir para o desenvolvimento de soluções para o tratamento de água, associadas a águas de diferentes tipologias de qualidade, de baixo custo e que, poderão também eles, constituir, de forma segura, simples e sustentável, alternativas à maioria das tecnologias convencionais;
- Contribuir, através da apresentação de propostas estratégicas, para a futura implementação de projetos piloto de sistemas de baixo custo para tratamento de água, a possibilidade de em campo, poder ser testada a viabilidade tecnológica e socioeconómica destes

# 3. PLANO DE TRABALHO

Para a elaboração do presente trabalho, utilizou-se a seguinte metodologia:

**REVISÃO DE LITERATURA**

Recolha de informação relacionada com a crise mundial da água, nomeadamente na relação entre a falta de acesso à água potável e pobreza, com os problemas de saúde associados à ausência qualitativa de água e dos sistemas de tratamento de água e armazenamento seguro utilizados a nível residencial.

**SELEÇÃO E RECOLHA DE DADOS DAS ZONAS ESCOLHIDAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA**

**Seleção de três locais de estudo**

Critérios: Número de habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água e condições socioeconómicas da população da região a servir – dados recolhidos a partir dos censos demográficos do Brasil de 2010.

Locais escolhidos: Município de Campos de Júlio (Estado de Mato Grosso), Município de Pracuúba (Estado de Amapá) e Município de Faro (Estado do Pará).

**SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE TRÊS ESTUDOS DE CASO**

**Recolha de Dados**

Os dados tiveram como base um projeto independente denominado projeto "Brasil das Águas", da autoria de Gérard Moss e Margi Moss. Os autores do projeto recolheram, entre 2003/2004, 1160 amostras de água doce de rios e lagos distribuídos pelo território brasileiro. As amostras de água foram recolhidas e enviadas para Universidades e cientistas envolvidos neste projeto, para posterior análise.

**Seleção dos três estudos de caso**

Critério: Diferentes tipologias de qualidade da água – uma com contaminação microbiológica, outra com contaminação microbiológica, turvação e estado trófico de hipereutrofização e, finalmente uma com contaminação microbiológica e com teores elevados de arsénio.

Objetivo: Encontrar diferentes tipos de soluções de baixo custo para tratamento de água, de acordo com a tipologia de qualidade da água e tendo em consideração diferentes cenários económico-energéticos.

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

**Seleção**

Critério: Efetuada com base na caracterização de operações e processos unitários, utilizados em tratamento de água, e na caracterização da qualidade da água dos três estudos de caso.

Escolha: Dois tipos de sistemas segundo a dimensão da população a abastecer.

Os sistemas que têm como alvo o total da comunidade estudada foram baseados em estudos de entidades independentes.

Os sistemas unifamiliares foram escolhidos tendo em conta o parecer de organizações, como a Organização Mundial de Saúde (OMS) e organizações sem fins lucrativos, nomeadamente o "Centro para água potável e Tecnologias de saneamento" (CAWST).

**Seleção e avaliação quantitativa dos Sistemas de Baixo Custo para Tratamento de Água**

Critério: Efetuado em termos de "custos unitários" e tendo como base um valor padrão estipulado por Loo *et al.* (2012). Foram atribuídas pontuações para os vários critérios de adequação dos Sistemas de Baixo custo para o Tratamento de Água (SBCTA) para que, posteriormente, pudessem ser selecionados os sistemas mais adequados a uma futura implementação.

Escolha Agentes desinfetantes Waterguard®, Aquatabs® e PTC, filtros Filtron®, Hydraid®, Kanchan®, Lifestraw Family®1.0 e Stefani® e reagentes PUR® e *Moringa Oleifera* como SBCTA unifamiliares. Ambos os sistemas de tratamento de água comunitários apresentados foram selecionados como SBCTA. O agente desinfetante Waterguard®, os biofiltros Hydraid® e Kanchan® foram os produtos com maior resultado nas pontuações dos critérios de adequação dos SBCTA.

**SELEÇÃO E PROPOSTAS ESTRATÉGICAS PARA PROJETO PILOTO DOS SISTEMAS DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA OS ESTUDOS DE CASO**

**Seleção**

Critério: Realizada com base na criação de quatro cenários económico-energéticos e nos resultados das pontuações dos critérios de adequação dos SBCTA.

Escolha: $C_{4A}$, $C_{3B}$ e $C_{4Cc}$

**Propostas estratégicas**

Critério: Feita com base no cenário socioeconómico escolhido e com base em entidades que costumam estar envolvidas neste tipo de projetos, nomeadamente com os SBCTA selecionados.

Caso o total da população não possua rendimento médio mensal, a amortização dos custos envolvidos no projeto são da responsabilidade de ONG/empresas/governo/produtor/Universidade através de doações/responsabilidade social/acordos.

Caso parte da população possua rendimento médio mensal, a amortização de parte dos custos envolvidos no projeto são da responsabilidade do utilizador pela aplicação de taxas de acordo com o escalão monetário individual. A restante amortização é da responsabilidade de ONG/empresas/governo/produtor/Universidade através de doações/responsabilidade social/acordos

# 5. REVISÃO DA LITERATURA

## 4.1. CRISE MUNDIAL DA ÁGUA

O acesso à água potável tem uma importância fundamental para a saúde humana e para a sua sobrevivência. Segundo a OMS e a UNICEF (2012), até ao final de 2011, cerca de 768 milhões de pessoas não tiveram acesso a uma fonte adequada de água.

A falta de acesso à água com qualidade mínima para consumo humano afeta maioritariamente os países em desenvolvimento. A partir da figura 4.1, verifica-se que as regiões que, atualmente, incluem os países em desenvolvimento, são Africa Subsariana, Norte de África, Ásia Oriental, Sul da Ásia, Ásia Sul-Oriental, Ásia Ocidental, Oceânia, América Latina e Caraíbas e Cáucaso e Ásia Central.
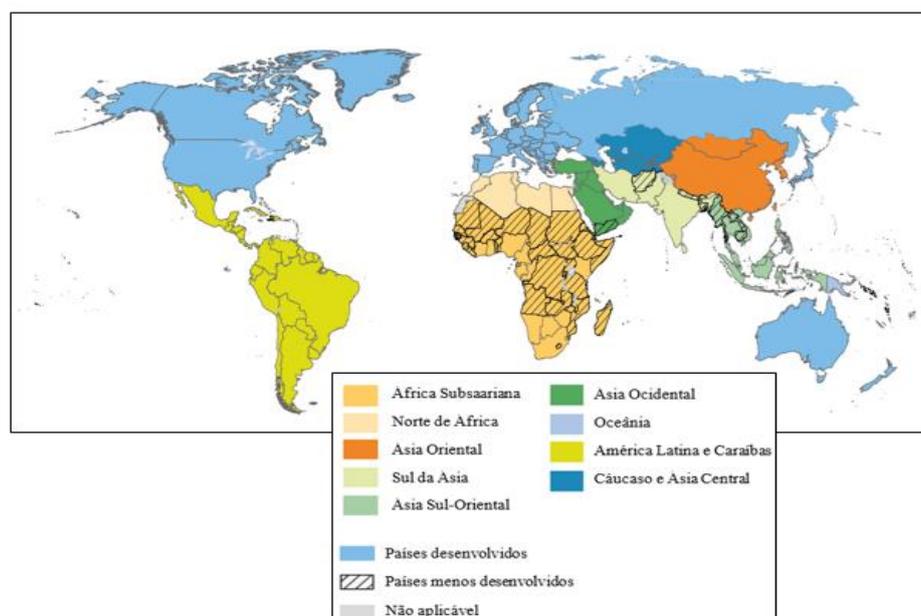
Figura 5.1 Mapa Mundial das regiões desenvolvidas, em desenvolvimento e menos desenvolvidas (Fonte: Adaptado de WHO, 2013).

A crise mundial da água está fortemente relacionada com a pobreza destas regiões. O fornecimento de água potável é considerado um passo fundamental para a comunidade poder sair da pobreza. Segundo Rocha (2006), "entende-se como pobres os indivíduos cuja renda familiar *per capita* é inferior ao valor que corresponderia ao necessário para atender a todas as necessidades básicas (alimentação, habitação, transporte, saúde, lazer, educação, entre outros)".

Existe quantidade de água suficiente, a nível mundial, para abastecer o total da população para usos domésticos, agricultura e indústria. O problema está na distribuição desigual deste bem para a

sociedade, em que as pessoas com menores capacidades económicos têm menor acesso à água potável pela sua pobreza, pelos reduzidos direitos legais ou limitações no que diz respeito ao acesso às infraestruturas que fornecem água com qualidade para ser consumida.

Quando as habitações não têm acesso ao serviço de abastecimento de água, a população tem de recorrer a fontes não tratadas ou através da compra de água a intermediários, nomeadamente operadores de fontanários, vendedores ambulantes de água ou operadores de camiões-cisterna. Esta forma de ter acesso a água com qualidade mínima para consumo torna o serviço mais caro e, visto tratar-se de um universo populacional com carências económicas, torna o acesso economicamente insustentável. O problema é que, mesmo com os preços mais baixos dos serviços de abastecimento público, a construção de um sistema de distribuição que ligue a ETA aos lares carenciados implica a aplicação de taxas insustentáveis de serem pagas com o valor do rendimento dado às populações carenciadas. Assim sendo, conclui-se que existe uma sólida ligação entre a pobreza e a falta de acesso à água potável (PNUD, 2006).

Infelizmente, grande parte dos países em desenvolvimento são afetados com a escassez económica da água pois, apesar de poder existir disponibilidade hídrica elevada, nem sempre a população tem meios económicos para poder ter acesso a água com qualidade mínima para ser consumida. Um exemplo é o caso do Brasil que, embora seja um dos países mais ricos em água doce do Mundo, contendo cerca de 11,6% do total de água doce do mundo, a distribuição geográfica bem como a densidade populacional distribuída neste recurso não é homogénea (Barros *et al.*, 2007). As regiões com maior índice de pobreza localizam-se em regiões hidrográficas com elevada disponibilidade hídrica. Contudo, não existem condições económicas para a criação de infraestruturas que permitam o tratamento da água com qualidade mínima para consumo humano, e/ou um sistema de distribuição que abasteça o total da comunidade.

### 4.1.1. Brasil

#### *4.1.1.1. Localização física e Clima*

O Brasil, localizado na zona centro-oriental da América do Sul, faz fronteira a norte com Guiana Francesa, Suriname, Guiana e Venezuela, a noroeste com Colômbia, a oeste com o Peru e Bolívia, a sudoeste com o Paraguai e Argentina e a Sul com o Uruguai. O território brasileiro conta com 8 547 403,5 $km^2$, constituído por cinco regiões, Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste (IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010).

| Grandes regiões | | Unidades da Federação | Capital | Sigla |
|---|---|---|---|---|
| | Norte | Bondónia | Porto Velho | RO |
| | | Acre | Rio Branco | AC |
| | | Amazonas | Manaus | AM |
| | | Roraima | Boa Vista | RR |
| | | Pará | Belém | PA |
| | | Amapá | Macapá | AP |
| | | Tocantis | Palmas | TO |
| | Nordeste | Maranhão | São Luís | MA |
| | | Piauí | Teresina | PI |
| | | Ceará | Fortaleza | CE |
| | | Rio Grande do Norte | Natal | RN |
| | | Paraíba | João Pessoa | PB |
| | | Pernambuco | Recife | PE |
| | | Alagoas | Maceió | AL |
| | | Sergipe | Aracaju | SE |
| | | Bahia | Salvador | BA |
| | Sudeste | Minas Gerais | Belo Horizonte | MG |
| | | Espírito Santo | Vitória | ES |
| | | Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | RJ |
| | | São Paulo | São Paulo | SP |
| | Sul | Paraná | Curitiba | PR |
| | | Santa Catarina | Florianópolis | SC |
| | | Rio Grande do Sul | Porto Alegre | RS |
| | Centro-Oeste | Mato Grosso do Sul | Campo Grande | MS |
| | | Mato Grosso | Cuiabá | MT |
| | | Goiás | Goiânia | GO |
| | | Distrito Federal | Brasília | DF |

Figura 5.2 Mapa Estatal do Brasil (Fonte: Adaptado de IBGE, 2013).

Este país é cortado pela linha do equador e pelo trópico de capricórnio, com a maior parte da área territorial situada nas latitudes mais baixas do globo, fazendo dele um país maioritariamente tropical. Apesar de ser um país maioritariamente tropical, apresenta uma ampla diversificação climática devido a vários fatores como a sua configuração geográfica, altitude e extensão territorial, variando entre um clima temperado, tropical e equatorial (Rebouças, 2003 e IBGE, 2002).

O clima quente, com temperaturas ao longo do ano superiores a 18ºC, é característico da região Norte, Nordeste e Sudeste, parte do Centro-Oeste e a norte da região Sul. O clima mesotérmico, com temperaturas entre os 10 e os 15ºC, é exclusivo da região Sul e em altitudes altas em regiões de serra do Sudeste. Relativamente à humidade, o tipo de clima super húmido sem estação seca ou subseca é característico da região Norte, em toda a região Sul, no litoral oriental do Nordeste e no litoral sul do Sudeste. O tipo de clima húmido com estação seca de um a três meses sucede-se por quase toda a região Norte, parte do nordeste e sul da região Centro-Oeste, parte oriental e sul do Sudeste, e zonas de serra e litoral do nordeste. O tipo de clima semi-húmido, com quatro a cinco meses seco abrange a parte leste de Roraima e parte da região Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste. Relativamente ao tipo de clima semi-húmido com seis a doze meses secos é característico do interior do Nordeste e na zona do rio São Francisco em Mato Grosso (Chaves, 2002). A precipitação média do país é de 1761 mm, variando entre 500 mm na região do Nordeste, a mais de 3000 mm na região Amazónica (ANA- Agência Nacional das Águas, 2013).

#### *4.1.1.2. Caracterização Socioeconómica*

O Brasil tem uma população de 190 755 799 habitantes e conta com um PIB de 1364,93 mil milhões de euros (4403 mil milhões de reais). A densidade populacional média é de 22,3 habitantes/km$^2$ (IBGE, 2010).

Segundo os censos demográficos de 2010 "considerou-se como rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* a divisão do rendimento mensal domiciliar pelo número de moradores do domicílio particular, exclusive aqueles cuja condição no domicílio fosse pensionista, empregado doméstico ou parente do empregado doméstico".

As principais atividades económicas dividem-se entre agropecuária (setor primário), indústria (setor secundário) e serviços (setor terciário). No ano de 2009 os serviços tiverem maior participação no valor acrescentado bruto com 67,5%, seguido da indústria com 26,8% e finalmente a agropecuária com 5,6%. No setor primário, dominaram a agricultura, silvicultura e exploração florestal. Já no setor secundário as indústrias de transformação foi a que contribuiu com maior peso na indústria e nos serviços o que mais contribuiu foi a administração, saúde e educação públicas, seguridade social, comércio e serviços de manutenção e reparação (IBGE, 2010).

O Ministério do Desenvolvimento Social e do Combate à Fome (MDS) (2011) afirma que, da totalidade da população brasileira, 16,27 milhões (8,5% da população total) de habitantes encontram-se em extrema pobreza. Tal como foi mencionado anteriormente, entende-se como pobreza um valor de rendimento familiar *per capita* que não permite satisfazer as necessidades básicas, nomeadamente o acesso à água potável. A linha de extrema pobreza no Brasil foi estimada em 21,7 euros (70 reais) *per capita*, considerando o rendimento nominal mensal domiciliar.
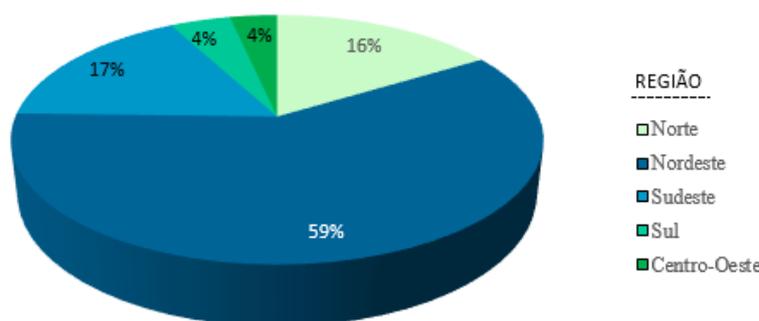
Figura 5.3 Distribuição Regional da população em extrema pobreza no Brasil (Fonte: Adaptado de MDS, 2011)

Como se pode observar pela Figura 4.3, esta tendência concentra-se essencialmente nas regiões do Nordeste, em que 59% da população total brasileira que vive em extrema pobreza localiza-se nesta região.

Um dos indicadores sociais que permite ter uma ideia da condição de vida da população é a forma de acesso à água potável. Em 2008 registaram-se cerca de 12 milhões de residências no País sem acesso à rede geral de abastecimento de água. Através do gráfico seguinte, verifica-se que a região mais crítica é a região Norte, onde cerca de 54,7% dos domicílios permanentemente ocupados, vagos, fechados e de uso ocasional nesta região não têm acesso aos serviços de abastecimento de água (IBGE, 2008).
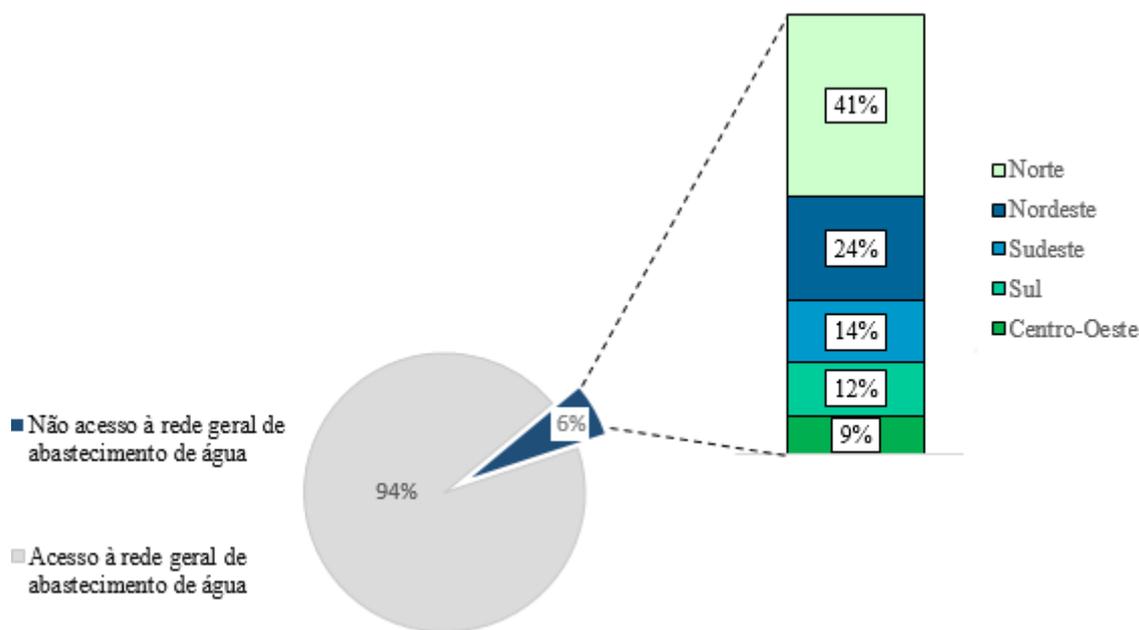
Figura 5.4 Distribuição população por região sem acesso à rede geral de abastecimento de água.

O Brasil, tal como foi dito anteriormente, é um país caraterizado pela sua riqueza de recursos hídricos a nível superficial e subterrânea. No entanto, a distribuição geográfica, assim como a densidade populacional distribuída neste recurso não é homogénea. Um exemplo é o caso da região hidrográfica da Amazónia, que apesar de ter um caudal de 132.145 $m^3/s$, é caracterizada por uma baixa uma baixa densidade populacional ao contrário da região metropolitana de São Paulo que localiza-se em bacias de caudal baixo, mas apresenta uma densidade populacional elevada. Assim sendo, existe uma forte diferença entre as principais regiões do Brasil relativamente à disponibilidade hídrica e à densidade populacional. A região com maior disponibilidade hídrica e com baixa densidade populacional é a região Norte, no entanto as condições de abastecimento de água são, em muitas zonas, precárias. Na região Sudeste, apesar de existir água suficiente, o crescimento demográfico e o consequente aumento industrial e agrícola, resulta num elevado custo de tratamento de água. No Nordeste, para além da escassez de água, as fontes de água disponíveis podem ser salobras, aumentando os problemas de saúde pública e diminuindo ainda mais a possibilidade de acesso à água. (Rebouças *et al*, 2002, citado por Hermes *et al*., 2006 e ANA, 2013).

### *4.1.1.3. Recursos Hídricos e Pressões exercidas sobre as Regiões Hidrográficas do Brasil*

Os recursos hídricos superficiais no Brasil incluem 50% do total dos recursos hídricos da América do Sul e 11% dos recursos hídricos totais a nível mundial, com um volume total de 168 870 $m^3$ (Barros *et al*., 2007).

O Brasil é constituído pelas bacias hidrográficas da Amazónia, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraguai, Paraná, Parnaíba, São Francisco, Tocantis-Araguaia, e Uruguai.

Figura 5.5 Mapa das Regiões Hidrográficas do Brasil (Adaptado de ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.1. Região Hidrográfica da Amazónia

A região hidrográfica (RH) da Amazónia tem cerca de 3,87 milhões de $km^2$, o que equivale a 45% da área total nacional. Nesta região estão incluídos os estados de Acre, Amapá, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso e Pará. Os principais rios desta região hidrográfica são o rio Solimões e o Rio Amazonas. O rio Amazonas além de estar incluído em território nacional, tem cerca de 2,2 milhões de $km^2$ em território internacional (Peru, Bolívia, Venezuela, Equador, Colômbia e Guiana). O caudal médio total é de 132 145 $m^3/s$ com uma contribuição adicional de 86 321 $m^3/s$ relativamente à

área que ocupa em território estrangeiro. À margem direita dos rios principais estão incluídos os rios Javari, Jutaí, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu e à margem esquerda os rios Japurá, Negro, Trombetas, Jari e Nhamundá. Rios como Solimões, Madeira e Purus são caraterizados por possuírem elevada turvação, nutrientes e iões dissolvido e pH básico. Estas caraterísticas sucedem-se devido à erosão geológica, bem como à forte agitação nas nascentes dos rios. O rio Negro apresenta uma cor escura devido à carga orgânica dissolvida, possui pH ácido, baixa concentração de matéria suspensa bem como de cálcio e magnésio. Estas caraterísticas derivam do facto do solo ser arenoso e pela vegetação que reside nas nascentes dos rios (ANA, 2013).

A região hidrográfica da Amazónia tem sofrido várias pressões antropogénicas, nomeadamente pela descarga de águas residuais sem tratamento prévio no meio recetor, tanto a nível doméstico como industrial. A atividade agropecuária intensiva em algumas bacias contribui também para a poluição difusa de fertilizantes e agrotóxicos e para o acréscimo da carga orgânica. A desflorestação na região Amazónica até 2008 correspondia a pelo menos 719 000 $km^2$, em que cerca de 60% era destinado a algum tipo de pasto e 5% a culturas anuais. A desflorestação destinada a implementação de atividades agrícolas provoca a erosão das margens dos rios, aumentando o transporte de sedimentos, nutrientes e temperatura, comprometendo assim a qualidade da água. Na região hidrográfica é predominante o transporte fluvial sendo em muitos locais o único meio de transporte existente. O transporte e o armazenamento de produtos potencialmente perigosos podem libertar acidentalmente esses mesmos produtos, poluindo as massas de água (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.2. Região Hidrográfica do Tocantis-Araguaia

A Região Hidrográfica (RH) do Tocantis-Araguaia tem uma área de 921 921 $km^2$, o equivalente a 11% da totalidade da área do Brasil, com um caudal de 13 779 $m^3/s$. Os estados inseridos nesta região são os estados de Tocantis, Pará, Goiás, Mato Grosso, Maranhão e Distrito Federal. Os principais rios constituintes desta RH são os rios Tocantis e Araguaia. O rio Tocantis tem como afluentes os rios Paranã, Manoel Alves, do Sono e Manoal Alves Grande. O rio Araguaia tem como afluentes o rio das Mortes, rio das Graças e rio Javaés. As principais pressões exercidas nos corpos de água advêm das atividades económicas anteriormente referidas, principalmente o aproveitamento hidroelétrico e o lançamento de efluentes sem tratamento prévio. A pecuária, nomeadamente a bovina, tem grande impacto económico e encontra-se distribuída por toda a RH. As culturas de soja e de arroz ocupam cerca de 85% da produção agrícola do estado de Tocantis (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.3. Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental

A Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental é a terceira menor do país com 274 301 $km^2$, caracterizada por diversos rios que desaguam no Oceano Atlântico e com um caudal de 2 608

$m^3$/s. Os principais rios incluídos nesta RH são os rios Itaperucu, Gurupi, Mearim, Pindaré, Munim, Grajaú e Turiaçu. O rio Itapecuru nasce no estado do Maranhão e tem a sua foz na baía do Arraial, a sudeste da ilha de São Luís. As principais causas da alteração da qualidade da água desta região são a descarga de resíduos e de águas residuais domésticas sem tratamento prévio (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.4. Região Hidrográfica do Parnaíba

A Região Hidrográfica do Parnaíba tem uma área de 333 000 $km^2$ com um caudal de 767 $m^3$/s. Os estados pertencentes a esta região são os estados de Piauí, Maranhão e Ceará. O principal rio incluído na RH é o rio Parnaíba com os rios Gurguéia, Canindé, Poti e Longá a pertencer à margem direita e o rio das Balsas a pertencer à margem esquerda. As principais pressões exercidas nas massas de água desta região são a descarga de águas residuais e de resíduos sólidos urbanos sem tratamento prévio, pecuária e atividades agrícolas como as culturas temporárias de soja, arroz, milho e mandioca (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.5. Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental

A Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental abrange uma área de 286 802 $km^2$ e com um caudal de 774 $m^3$/s. A RH inclui os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Ceará, Pernambuco, Alagoas e Piauí com apenas 2% da sua área. A hidrografia desta região é caraterizada pelos diversos rios de pequena extensão que desaguam no Oceano Atlântico. Os principais rios da RH são os rios Jaguaribe, Piranhas, Açu, Apodi, Mossoró, Potengi e Paraíba.

A RH do Atlântico Nordeste Oriental é alvo de um intenso fluxo turístico e, como tal existe um valor acrescido nas capitações de água para abastecimento humano na região. As principais atividades económicas são a agricultura, industria, mineração, produção de petróleo e turismo. A qualidade da água da RH é condicionada essencialmente devido à escassez hídrica e salinidade. A salinidade está relacionada com as caraterísticas geológicas da região e com o clima semiárido, pois a evaporação supera a precipitação. (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.6. Região Hidrográfica de São Francisco

A região Hidrográfica de São Francisco abrange os estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Goiás e Distrito Federal. A RH possui um caudal de 2848 $m^3$/s e tem uma área de 638576 $km^2$.O principal rio é o rio São Francisco, com os rios Paracatu, Urucuia, Corrente, Grange e Pajeú à margem esquerda e os rios Pará, Paraopeba, Velhas, Jequitaí e Verde Grande à margem direita. Atividades como a mineração e a poluição gerada da indústria, aliada ao lançamento

de águas residuais domésticas sem tratamento prévio para o meio recetor, são as principais pressões exercidas na alteração da qualidade da água da região hidrográfica de São Francisco (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.7. Região Hidrográfica do Atlântico Leste

A região Hidrográfica do Atlântico Leste tem uma área de 388 160 $km^2$, compreendendo os estados da Bahia, Minas Gerais, Espirito Santo e Sergipe. A RH tem com caudal médio de 1 484 $m^3/s$ e tem como rios principais os rios Vaza-Barris, Itapicuru, Paraguaçu, Jaguaribe, Contas, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e Itaúnas. As principais pressões que provocam a alteração da qualidade das águas da região são a descarga de efluentes domésticos e o destino inadequado de resíduos sólidos urbanos para o meio recetor (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.8. Região Hidrográfica Atlântico Sudeste

A Região Hidrográfica Atlântico Sudeste ocupa cerca de 299 972 $km^2$, incluindo os estados do Rio de Janeiro, Espirito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. O caudal médio da região é de 3 162 $m^3/s$ e tem como rios principais os rios Paraíba do Sul e Doce. Esta região é caraterizado pela riqueza e diversidade económica, pelo desenvolvido parque industrial e pelo elevado fluxo turístico.

Devido ao fluxo turístico, principalmente no Verão, a capacidade de tratamento das Estações de Tratamento de Água Residual (ETAR) ultrapassa o caudal de água residual afluente nesta altura do ano. A desflorestação causada inicialmente pela implantação de atividades agrícolas e posteriormente pela instalação de atividades industriais e pelo crescimento populacional, são vetores que provocam a alteração da qualidade da água da região hidrográfica. Aliados a estes vetores, a extração de areia nas margens dos rios intensifica esta problemática ambiental. A região hidrográfica Atlântico Sudeste é alvo de potenciais acidentes ambientais, nomeadamente derrames de materiais tóxicos pelo rompimento de tubagens ou pela descarga de efluentes industriais clandestinos. Em Novembro de 2008 a descarga de pelo menos 8000 litros de um pesticida (Endossulfan) de uma indústria no Rio de Janeiro no rio Pirapetinga, afluente do rio Paraíba do Sul, provocou a morte de centenas de toneladas de peixes (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.9. Região Hidrográfica do Paraná

A região Hidrográfica do Paraná é a terceira região hidrográfica com maior extensão do Brasil, abrangendo uma área de cerca de 880 mil $km^2$ com um caudal médio de 11 414 $m^3/s$. Os estados incluídos nesta região são os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás,

Santa Catarina e Distrito Federal. Os principais rios da RH são os rios Paraná, Grande, Paranapanema, Iguaçu, Tietê e Paranaíba.

A elevada densidade populacional, bem como a diversidade do uso e ocupação do solo e o transporte de cargas perigosas fazem da RH do Paraná um alvo de pressões ambientais, nomeadamente a descarga sem tratamento prévio de efluentes domésticos e resíduos sólidos urbanos. As atividades económicas características da RH do Paraná, nomeadamente a indústria petroquímica, têxtil, química, ceramistas e metal-mecânica geram efluentes de natureza inorgânica com potencial perigo para as massas de água da região. (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.10. Região Hidrográfica do Paraguai

A região Hidrográfica do Paraguai inclui uma das maiores áreas húmidas do planeta, o Pantanal, intitulado Património Nacional pela Constituição Federal de 1988 e Reserva da Biosfera pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) em 2000.

O rio Paraguai nasce no Brasil abrangendo uma área de pelo menos 1 milhão de km$^2$, da qual cerca de 328 500 km$^2$ no Brasil e a restante na Argentina, Bolívia e Paraguai. Os principais afluentes são os rios Cuiabá, São Loureço, Taquari, Miranda e Negro. A RH no Brasil inclui os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Outros dos rios incluídos são os rios Corrente, Sepetiba, Bento Gomes, Ítiquira, Apa, Aquidauana-Miranda e Nabileque. O caudal médio da totalidade na região hidrográfica é de 2 359 m$^3$/s.

As principais pressões exercidas sob as massas de água que alteram a sua qualidade são a criação intensiva de animais, pecuária, navegação, mineração, assoreamento, erosão e a descarga de resíduos sólidos urbanos. O ciclo anual de cheia e seca no Pantanal é um fenómeno natural que é também responsável pela degradação da qualidade das massas de água. No período de diminuição de caudal a vegetação aquática morre e é substituída pela vegetação terreste e durante o período de aumento de caudal essa vegetação fica submersa. Durante este ciclo ocorre a decomposição da matéria orgânica, originária da vegetação terrestre e aquática morta, e na sequência de aumento de caudal a matéria é transportada para as massas de água (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.11. Região Hidrográfica do Uruguai

A Região Hidrográfica do rio Uruguai inclui território nacional, com 174 612 km$^2$, e 196 388 km$^2$ em território da Argentina e do Uruguai. A RH em território brasileiro abrange os estados do Rio

Grande do Sul e de Santa Cantarina. O caudal médio da RH é de 4 103 $m^3/s$ e tem como rios principais os rios Uruguai, Pelota, Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, Ijuí, Piratinim, Butuí-Icamaquã, Santa Maria, Ibicuí, Negro e Quaraí. As principais pressões existentes são a descarga de efluentes domésticos sem pré-tratamento no meio recetor, a criação intensa suinícola, a atividade agrícola sem a utilização de práticas de conservação de solo, a mineração e a descarga de efluentes industriais, sem pré-tratamento, de natureza alimentícia. (ANA, 2013).

#### 4.1.1.3.12. Região Hidrográfica Atlântico Sul

A Região Hidrográfica Atlântico Sul tem uma área de 186 mil $km^2$, com um caudal médio de 4055 m3/s e inclui os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Os principais rios são os rios Camaquã, Capivari, Itajaí, Jacuí/Guaíba. As pressões responsáveis pela alteração da qualidade da água passam pela criação intensiva de animais, mineração e industria. O turismo é uma das atividades económicas importantes da RH, porém esta atividade praticada especialmente no litoral aumenta consideravelmente os caudais para abastecimento de água, as capitações para tratamento das águas residuais geradas bem como a produção de resíduos sólidos urbanos. A maioria das regiões não estão preparadas para atender a esta variação populacional, aumentando assim a descarga de efluentes domésticos e de resíduos sólidos urbanos, sem tratamento prévio, no meio recetor (ANA, 2013).

## 4.2. INICIATIVAS MUNDIAIS

No ano de 1992, na Cimeira do Rio, da ONU, criou-se o conceito de Desenvolvimento Sustentável, em que um dos setores avaliados foi a escassez e qualidade da água, com o intuito de criar soluções para minimizar o problema. Por forma a acentuar os objetivos da Cimeira anterior, as Nações Unidas criaram em Setembro de 2000, diversos objetivos e metas, denominados “Objetivos de Desenvolvimento do Milénio” (MDG- *Millenium Development Goals*). Dentro destes objetivos, o sétimo pertencente à meta 10, é destinado especificamente para o problema de sustentabilidade ambiental com uma das metas de que “até 2015, diminuir para metade a população sem acesso a água potável e saneamento básico” (Gomes, 2011 e Baffrey, 2005).

Consequentemente, um relatório de avaliação que fornece informação relativa à evolução de acesso a água potável entre 1990 e 2011 foi produzido pela OMS e pelo Fundo das Nações Unidas para infância (UNICEF- *United Nation Children’s Fund*). Consequentemente, foram criadas metas prévias, nomeadamente que “até 2030 qualquer habitação seja abastecida com água potável e possua infraestruturas para lavagem de mãos, que todas as escolas e centros de saúde providenciem ao utente saneamento básico e água potável, bem como infraestruturas para lavagem de mãos e facilidades na

higiene menstrual e ainda que as desigualdades no acesso a cada um destes serviços venha a ser progressivamente eliminada" (WHO, 2013).

Apesar do tema relacionado com o acesso à água potável se enquadrar somente no objetivo ligado à sustentabilidade ambiental, existe uma forte relação entre os objetivos de Desenvolvimento de Milénio e a problemática do acesso à água potável. Esta correlação deve-se ao facto da água potável constituir um dos vetores mais poderosos do desenvolvimento humano, nomeadamente na melhoria da saúde, crescimento da riqueza e aumento da dignidade. A resolução da problemática do acesso à água potável poderá ser um impulso para o cumprimento dos objetivos estipulados pelas Nações Unidas (PNUD, 2006).

A tabela 4.1 relaciona os objetivos de desenvolvimento do Milénio alguns dos problemas relacionados com a falta de acesso à água com qualidade para ser consumida.

Tabela 5.1 Objetivos de Desenvolvimento do Milénio e Problemas relacionados com a falta de acesso à água potável.

| **Objetivos de Desenvolvimento do Milénio** | **Problemas relacionados com a falta de acesso à água potável** |
|---|---|
| Objetivo 3:<br>Promover a igualdade de género e a autonomização da mulher | São as mulheres que têm a responsabilidade de recolher a água, que por vezes têm de percorrer longas distâncias, constituindo uma das principais fontes de privação do tempo. |
| Objetivo 4:<br>Reduzir a mortalidade infantil | As doenças causadas pela falta de acesso à água potável são responsáveis pelas principais causas de morte no mundo |
| Objetivo 5:<br>Melhorar a saúde materna | O acesso à água potável diminui o risco de doenças, como a anemia e a deficiência de vitaminas, que comprometem a saúde materna. |
| Objetivo 6:<br>Combater o VIH/SIDA, a malária e outras doenças | O acesso inadequado à água contribuem para o aumento de riscos de infeção em pessoas portadores do VIH/SIDA |
| | As mães infetadas pelo VIH precisam de água potável para fornecer leite artificial |
| Objetivo 7:<br>Garantir a sustentabilidade ambiental | Tendo em conta os dados atuais, mesmo com a redução de metade da percentagem de população sem acesso a água, 235 milhões de pessoas continuarão sem acesso. |
| | Pelo menos 1,4 mil milhões de pessoas habitam em bacias hidrográficas, nas quais utilizam a água mais do que o nível mínimo de reposição, contribuindo para a escassez das fontes de água superficiais e subterrânea. |
| Objetivo 8:<br>Desenvolver uma parceria global para o desenvolvimento | A água é mal integrada nos Documentos de Estratégia de Redução da Pobreza |

*FONTE: Adaptado de PNUD (2006).*

## 4.3. PROBLEMAS DE SAÚDE ASSOCIADOS À ÁGUA

As doenças associadas à água podem ser classificadas conforme os meios de propagação no intuito de avaliar as causas para que posteriormente possam ser estudadas as possíveis soluções. Os problemas de saúde associados à água encontram-se relacionados com o consumo direto da água, associadas à higiene, de contato com a água ou associadas a vetores desenvolvidos na água (Rebouças *et al*, 2002, citado por Hermes *et al*., 2006)

- Doenças devido ao consumo direto da água- Infeções causadas pela ingestão de água contaminada por organismos patogénicos. Estes organismos derivam de matéria fecal, principalmente devido à falta de saneamento (Gomes, 2011);
- Doenças associadas à higiene- Causadas pela falta de água e por hábitos de higiene (Gomes, 2011);
- Doenças de contato com a água- Doenças causadas por um animal invertebrado aquático que pode causar infeções pelo contato da pele. No Brasil, a infeção com maior renome é a esquistossomose e, que existe também em outras regiões (Rebouças *et al*, 2002, citado por Hermes *et al*, 2006 e Gomes, 2011);
- Doenças associadas a vetores desenvolvidos na água- Infeções que são transmitidas por organismos patogénicos através da picada de insetos no Homem, que são desenvolvidos na água. No Brasil, as doenças mais comuns são a malária, a febre amarela e a dengue (Rebouças *et al*, 2002, citado por Hermes *et al*, 2006 e Gomes, 2011).

A tabela 4.2 associa algumas das doenças e agentes patogénicos associados a cada meio de propagação.

Tabela 5.2 Doenças e agentes patogénicos resultantes dos problemas associados à água, segundo o meio de propagação.

| Meio de propagação | Doença | Agente Patogénico |
|---|---|---|
| **Consumo direto da água** | Cólera, Febre tifóide, leptospirose, Giardiase, amebíase, hepatite infeciosa, diarreia aguda | *Vibrio cholerae, salmonella typhi, leptospira inyerrogarrs, Giardia lamblia, Entameba histolytica, Hepatite vírus A, Balantidium coli, Cryptosporidium, Bacillus cereus, S.aureus, Campylobacter, E. coli enterotoxigénica e enteropatogénica, Shigella, Yersinia enterocolitica, Astrovirus, Calicivirus, Norwalk, Rotavirus A e B* |
| **Associados à higiene** | Escabiose, Pediculose (piolho), Tracoma, Conjuntivite bacteriana aguda, Salmonelose, Tricuríase, Enterobíase, Ancilostomíase, Ascaridiase | *Sarcoptes scabiei, Pediculus humanus, Chlamydia trachoma, Harmophilus aegyptius, Salmonella typhimurium, Trichuris trichiura, Enterobius vermicularis, Ancylostoma duodenale, Ascaris lumbricoides* |
| **Contato com a água** | Malária, Dengue, Febre amarela, Filariose | *Plasmodium vivax, P. malariae e P. falciparum*, Grupo B *dos arbovirus, RNA virus, Wuchereria bancrofti* |
| **Associados a vetores desenvolvidos na água** | Esquistossomose | *Schistosoma mansoni* |

*FONTE: Adaptado de Hermes et al. (2006).*

## 4.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO SIMPLIFICADOS UTILIZADOS PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

Os sistemas simplificados de tratamento de água constituem uma alternativa aos sistemas de tratamento de água convencionais em regiões economicamente desfavorecidas, solucionando problemas associados à privação das comunidades com carências económicas no acesso à água potável fornecida pelo serviço de abastecimento de água local e, permitindo assim, assegurar o fornecimento de água com qualidade adequada para consumo humano.

Atualmente existem disponíveis no mercado, tecnologias simples de tratamento de água que, permitem garantir a qualidade de água para abastecimento. Estes sistemas podem ser implementados quer a nível residencial quer a nível comunitário.

### 4.4.1. Sistemas de Tratamento e Armazenamento de Água utilizados a nível Residencial

Em sociedades industrializadas, o acesso à água potável é feito através de sistemas de abastecimento de água, onde o tratamento de água é centralizado numa única instalação (ETA).

Contudo, a instalação deste tipo de soluções em países em desenvolvimento, nem sempre é economicamente sustentável, não havendo, a maior parte das vezes, recursos financeiros para a construção, operação e manutenção das infraestruturas necessárias à implementação de todo o sistema. Esta problemática constitui uma barreira no cumprimento do objetivo sete, pertencente à meta 10, dos MDG, estipulado pelas Nações Unidas. Daí, a urgência de encontrar soluções alternativas que permitam contrariar a falta de acesso à água potável em zonas onde o acesso ao serviço de abastecimento de água é economicamente inviável e que ajudem na diminuição dos problemas de saúdes associados à falta de acesso à água com qualidade mínima para consumo humano. Uma das possibilidades a considerar poderá ser a promoção e implementação de Sistemas de Tratamentos e Armazenamento de Água utilizados a nível Residencial (STAAR) (Baffrey,2005).

Em 2003, instituições académicas, ONGs e sectores privados formaram uma rede denominada "Rede International para Promover O Tratamento de Água a nível Residencial e o Armazenamento Seguro" ("*International Network to Promote Household Water Treatment and Safe Storage*"), com sede na OMS em Genebra, Suíça. O seu objetivo inicial era "contribuir para uma redução significativa nas doenças associadas ao consumo direto de água contaminada, especialmente em populações vulneráveis, através da promoção de tratamentos de água a nível residencial e armazenamento seguro como componente chave de programas de água, saneamento e higiene" (WHO, 2014).

Atualmente existem mais de 100 membros associados a esta rede, distribuídos a nível global, constituídos por entidades governamentais, agências das Nações Unidas, organizações internacionais, entidades privadas, ONGs e instituições universitárias como o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT- *Massachusetts Institute Technology*) (WHO, 2014).

Segundo Sobsey *et al*. (2008), através de estudos recentes, estima-se que, através do desenvolvimento da qualidade da água tratada nos pontos de consumo, observou-se cerca de 30 a 40% de redução nas doenças associadas ao consumo direto de água contaminada.

### 4.4.2. Sistemas de Tratamento de água utilizados a nível comunitário

Uma alternativa aos sistemas de tratamento de água utilizados a nível residencial são sistemas de tratamento de água com capacidade para volumes suficientes para fornecer água com qualidade mínima para consumo direto a nível comunitário. Estes sistemas diferem dos sistemas de tratamento de água convencionais por não estarem integrados em sistemas de abastecimento.

As tecnologias de tratamento de água, utilizadas a nível comunitário, fazem a ligação entre a água tratada e a população a servir geralmente através de *standposts* ("postos fixos"). Estas estruturas são pequenos sistemas de distribuição destinados a locais de armazenamento público servindo um determinado aglomerado populacional. A instalação destas estruturas podem ser feitas geralmente por serviços públicos e financiados diretamente por estes, por autoridades locais ou através de subsídios providenciados pelo governo, doadores externos ou ONGs (Kariuki, 2003).

Um exemplo de sistemas de tratamento de água com capacidade para fornecer água potável a nível comunitário são os sistemas móveis. A empresa "Veolia Water Technologies" (VWT), divisão de água da multinacional "Veolia Environment", é líder mundial na prestação de serviços relativos ao tratamento de água. Esta empresa desenvolveu a marca Aquamove®, que oferece tecnologias de tratamento de água instaladas num dispositivo móvel (carro, atrelado) que incluem, nomeadamente etapas de filtração, desinfeção, amaciamento, osmose inversa ou permuta iónica. Dependendo da qualidade da água na origem, os sistemas de tratamento móvel podem ser constituídos por um ou vários equipamentos (Veolia Treatment Technologies, 2014).

Os serviços de tratamento de água, representados pela marca Aquamove® são geralmente utilizados para situações temporárias ou de emergência.

Figura 5.6 Esquema representativo do sistema móvel Aquamove® (Adaptado de Veolia Treatment Technologies, 2014)

# 5. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Tendo em consideração que este estudo, se enquadra, numa situação, referenciada como país em desenvolvimento e, o país objeto do estudo é o Brasil, a caraterização dos parâmetros de qualidade da água baseou-se, a nível nacional, na legislação do Ministério da Saúde do Brasil e internacionalmente na documentação da OMS. Estes parâmetros serviram como objeto de estudo de análise no capítulo 7, com o objetivo de caraterizar a qualidade da água das origens selecionadas para captação. Estes parâmetros estão divididos em três grandes grupos: parâmetros químicos, parâmetros físicos e organoléticos e parâmetros microbiológicos.

## 5.1. PARÂMETROS QUÍMICOS

### 5.1.1. Arsénio

O arsénio é um não metal, encontrando-se amplamente distribuído pela crosta terrestre, associado geralmente a outros metais em formações rochosas (Mendes *et al.*, 2004).

Este elemento pode ser introduzido na água através de emissões naturais e antropogénicas, nomeadamente pela lixiviação das partículas provenientes do solo, por processos de erosão de recursos naturais, por erupções vulcânicas, pela descarga de efluentes industriais ou até pela utilização de detergentes e adubos fosfatados. O arsénio, apesar de ser essencial para o ser humano, ingerido em excesso é tóxico, podendo até ser cancerígeno (Mendes *et al.*, 2004).

Segundo Sousa (2013), os principais sistemas de tratamento de água usualmente utilizados para remoção de arsénio passam pelas etapas de oxidação/filtração, coagulação/filtração gravítica, coagulação assistida por microfiltração, permuta iónica, adsorção e utilização de membranas.

### 5.1.2. Bário

É um metal naturalmente presente na crosta terrestre que, ao reagir com o sulfato presente na água, forma um composto insolúvel, Sulfacto de Bário. A origem deste elemento na água pode dever-se à descarga de efluentes industriais e por processos naturais, nomeadamente associados a processos de natureza geológica (Mendes *et al.*, 2004).

A ingestão do bário em excesso através da água, apesar de ser geralmente pouco significativa, pode ser tóxico para o Homem. Visto que o teor de bário nas águas é geralmente reduzido nas águas, não existem dados relativamente a tratamentos associado à remoção deste elemento (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.3. Boro

É um elemento não metálico, igualmente presente na crosta terreste em formas combinadas, dada a sua reatividade. Teores elevados nas águas são associados a origens antropogénicas, nomeadamente a atividades industriais (Mendes *et al.*, 2004).

Em águas salinas é normal encontrar este mineral em concentrações de 5 mg/l (EPA-Environmental Protection Agency, 2001). O boro em quantidades excessivas resulta em problemas de saúde humana, em que a sua toxicidade varia com a forma é ingerido (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.4. Cádmio

O cádmio encontra-se pouco distribuído na crosta terrestre e apresenta uma pequena percentagem em grande parte dos solos. Assim, a sua origem deve-se praticamente a atividades industriais, lixiviados provenientes de aterros sanitários ou como consequência de explorações mineiras (EPA, 2001 e Mendes *et al.*, 2004).

Nas águas doces, predomina a forma iónica livre, que pode variar entre valores de1µ/L (águas limpas) a 10µ/L em águas poluídas. Relativamente à água de consumo, podem ser encontrados valores elevados devido, por exemplo, à cobertura deste metal nos acessórios das tubagens.

Este metal, tóxico à saúde humana, é fortemente adsorvido em matéria orgânica, sofrendo bioacumulação, entrando na cadeia alimentar e aumentando assim a sua concentração desde a base da cadeia até ao topo, onde se encontra a espécie humana (EPA, 2001).

A eliminação do cádmio pode ser conseguida através da permuta iónica, utilizando resinas, ou pela precipitação deste (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.5. Chumbo

O Chumbo é um metal pesado, com distribuição variável no solo, no ar e na água. A sua origem em águas superficiais deve-se principalmente a atividades antropogénicas, nomeadamente devido a descargas de efluentes industriais e domésticos, sem tratamento prévio nas massas de água. (EPA, 2001 e Mendes *et al.*, 2004).

Este elemento é tóxico para o Homem, que se acumula no esqueleto sobre a forma de fosfatos insolúveis. A sua remoção na água pode ser feita através de várias etapas, entre as quais, etapas de coagulação/floculação, filtração utilizando carvão ativado ou oxidação (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.6. Cloretos

Os cloretos são dos sais mais abundantes na natureza, principalmente na água do mar. O teor de cloretos numa água pode ter diversas origens, dependendo da natureza dos terrenos atravessados das

condições climatéricas, da contaminação por efluentes industriais, de intrusões salinas, e ainda da entrada da água do mar nos rios, na sequência de marés (EPA, 2001).

Este elemento existe em todas as águas naturais em que pode variar entre concentrações baixas (entre 15 a 35 mg/L em águas doces) até concentrados máximas de 35000 mg/L em águas salinas. A origem em águas naturais deve-se principalmente às formações rochosas onde a água escoa. Elevadas concentrações devem-se, geralmente, à descarga de efluentes industriais, intrusão salina e descarga de resíduos nas massas de água (EPA, 2001).

A remoção de cloretos pode ser conseguida através de processos desde a separação de membranas por osmose inversa até à destilação ou a diluições, até níveis de concentração desejados (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.7. Crómio

O crómio é um elemento não metálico, em que a sua presença em águas superficiais deve-se maioritariamente a atividades antropogénicas, nomeadamente devido a descargas industrias. A ingestão deficiente deste elemento provoca disfunções no metabolismo, no entanto, em excesso é considerado um composto cancerígeno (EPA, 2001).

Tal como o caso do cádmio, a remoção do crómio pode ser conseguida por precipitação química ou por troca iónica (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.8. Dureza Total

A dureza total é entendida como a concentração de iões metálicos, nomeadamente cálcio e magnésio, expresso em mg/L $CaCO_3$. A concentração destes metais na água depende geralmente da sua abundância no solo e no material rochoso onde escoa a água. As águas podem ser classificadas como macias (menor que 50 mg/l $CaCO_3$), moderadamente macias (entre 51-100 mg/l $CaCO_3$), ligeiramente duras (entre 101 - 150 mg/l $CaCO_3$), moderadamente duras (entre 151-250 mg/l CaCO3), duras (entre 251-350 mg/l $CaCO_3$), excessivamente duras (superior a 350 mg/l $CaCO_3$). A dureza da água pode ser designada como dureza cálcica (devido à presença do ião cálcio) ou como dureza magnesiana (devido à presença do ião magnésio). Em ambos os casos a dureza pode ser carbonatada ou não carbonatada. A última situação deve-se ao facto da reação entre o cálcio ou o magnésio se dê com formas não carbonatadas (EPA, 2001).

Existe uma tendência para a diminuição de doenças cardiovasculares associadas ao consumo de águas duras. Aliado a este factor, existe a vantagem de estas águas formarem uma camada de carbonato que protege as tubagens da rede de distribuição de água para consumo (Mendes *et al.*, 2004).

Tendo em conta que a água para consumo humano não deve ser agressiva, deve ser feita a mineralização desta caso seja necessário aumentar a dureza até níveis aceitáveis. Caso a água apresente

excesso de dureza, deve-se recorrer a processos de amaciamento ou de permuta iónica (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.9. Fluoretos

O fluoreto é um não metal, presente na crosta terreste com uma percentagem de 0,07%. Este elemento ocorre naturalmente em poucas circunstâncias, encontrando-se presente na água devido quase exclusivamente à adição de fluor na água para abastecimento público e nas descargas industriais nas massas de água (EPA, 2001 e Mendes *et al.*, 2004).

Quando consumido em excesso, o fluor pode trazer efeitos tóxicos na saúde humana, porém quantidades controladas trazem benefícios na saúde pública. Caso exista a carência deste elemento na água de consumo, são normalmente distribuídos suplementos, nomeadamente águas minerais fluoradas ou alimentos como sal fluorado. A remoção do excesso de fluor na água passa por tratamentos como o amaciamento de cal, ou etapas de coagulação/floculação com filtração a jusante (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.10. Fósforo total

O fósforo, elemento não metálico, é um constituinte da crosta terrestre. O fósforo encontra-se naturalmente nas águas superficiais sobre a forma mais comum de ião fosfato ($PO4^{3-}$). A sua origem deve-se à biodegradação de matéria orgânica natural ou associada à descarga de efluentes residuais domésticos. (EPA, 2001 e Mendes *et al.*, 2004).

A importância da medição deste elemento está ligado essencialmente ao fenómeno de eutrofização das massas de água, sendo um factor limitante dos processos de eutrofização. A presença de fósforo promove desde o desenvolvimento a crescimentos exponenciais de algas e outras plantas, provocando fortes variações de oxigénio dissolvido no meio aquático (EPA, 2001).

O índice de estado trófico (IET) pode ser calculado a partir da concentração de fósforo total, resultando no grau de eutrofização das massas de água.

### 5.1.11. Manganês

O Manganês é um metal pesado que se encontra presente nas formações rochosas, sendo um elemento característico de águas subterrâneas. Este elemento é essencial à vida humana, contudo a presença de manganês em excesso provoca sabor desagradável e raramente existem situação de toxicidade (EPA, 2001 e Mendes *et al.*, 2004).

Para a remoção do manganês, recorre-se à oxidação com pH elevado com posterior filtração (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.12. Níquel

O níquel é um metal pesado, presente na crosta terrestre, em que a sua origem nas águas está associada a atividades antropogénicas, nomeadamente por descargas de efluentes industriais, e por lixiviação natural dos solos e formações rochosas. O teor deste metal pode aumentar nas águas de consumo devido à sua presença nas tubagens da rede de distribuição (Mendes *et al.*, 2004).

Este elemento, apesar de ser uma componente essencial para o corpo humano, em excesso pode tornar-se tóxico (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.13. Nitratos

Estes compostos são considerados as formas azotadas mais importantes, pois são elementos cruciais à formação de biomassa das plantas e animais. Contudo, parte da sua presença nas águas superficiais deve-se a atividades antropogénicas, nomeadamente através da descarga de efluentes ou pela utilização de fertilizantes artificiais. Atividades agrícolas intensivas, através da utilização de fertilizantes, provocam a deposição destes nos solos e, consequentemente são transportados por escoamento superficial até às massas de água (EPA, 2001).

O consumo excessivo de nitratos e nitritos pode originar problemas na saúde humana, principalmente nos bebés, como é o caso da doença "metahemoglobinémia infantil", mais conhecida pela doença do "bebé azul", causando a morte por asfixia (Mendes *et al.*, 2004).

Relativamente aos tratamentos de água para remover este elemento, destacam-se processos por osmose inversa, permuta iónica ou desnitrificação biológica (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.14. Nitritos

O nitrito, forma intermédia entre o azoto e o nitrato, possui concentrações que raramente equivalem a mais do que um a dois por cento do nível de nitrato. Valores superiores a 0,03 mg/L indicam poluição devido à descarga efluentes residuais nas massas de água. Este elemento é, principalmente, um indicador de poluição. A reação deste composto com matéria orgânica resulta na presença de nitrosaminas, compostos que podem ter efeitos cancerígenos (EPA, 2001).

A remoção de nitritos pode ser feita por processos de oxidação através do cloro, ozono, ou outros oxidantes (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.15. Oxigénio Dissolvido

O oxigénio, principal constituinte da crosta terrestre, é um elemento característico de águas naturais. A concentração de oxigénio diminui com a temperatura. No caso de ser adicionada matéria orgânica à massa de água, as bactérias utilizam o oxigénio para degradar a matéria orgânica e, em casos

extremos, o oxigénio diminui para concentrações tais que tornam o ambiente anaeróbio, prejudicial para os seres vivos que habitam no meio aquático (EPA, 2001 e Mendes *et al.*, 2004).

A relação deste elemento é inversamente proporcional à temperatura, verificando-se que quanto maior for a temperatura, menor será o oxigénio dissolvido (OD) na água (EPA, 2001).

Teores baixos de OD na água não afetam a saúde humano. Para manter valores elevados de OD na água, são adotados processos de arejamento da água ou agentes oxidantes (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.16. Sódio

Este elemento, distribuído amplamente pela crosta terrestre, encontra-se geralmente na forma de cloreto de sódio, devido à sua reatividade. A descarga de efluentes residuais domésticos contribuem para o aumento do teor de sódio nas massas de água (Mendes *et al.*, 2004).

É um componente essencial para o corpo humano, recomendado o seu consumo de pelo menos cinco gramas. No entanto, o seu consumo excessivo provoca problemas de saúde, nomeadamente hipertensão (EPA, 2001).

A remoção deste elemento na água passa por processos de dessalinização ou desmineralização da água, recorrendo a tratamentos como osmose inversa, permuta iónica ou destilação (Mendes *et al.*, 2004).

### 5.1.17. Sulfato

O sulfato é um constituinte natural de materiais rochosos, sendo que a sua concentração na água varia com a natureza do terreno onde a água escoa. Em águas poluídas, devido a descargas de efluentes domésticos e/ou industriais, com concentrações de oxigénio mínimas, o sulfato rapidamente é reduzido, causando odores nocivos à saúde pública (EPA, 2001).

Segundo Mendes *et al.* (2004), os tratamentos para a redução deste elemento são de baixa eficiência e, que na prática, não são usualmente utilizados.

### 5.1.18. Zinco

O zinco é um metal pesado, presente na crosta terrestre. Este elemento pode associar-se ao chumbo ou outros metais, afetando negativamente a saúde pública. A origem antropogénica na água deve-se essencialmente a efluentes industriais. Por outro lado, processos naturais como a lixiviação do solo contribuem para a presença deste elemento na água (Mendes *et al.*, 2004).

Este mineral é essencial para o corpo humano, mas para a vida aquática pode ser tóxico, dependendo das concentrações do zinco e da dureza da água, que aumenta quanto maior for a sua dureza (EPA, 2001).

A remoção de zinco baseia-se essencialmente em etapas de precipitação ou de permuta iónica (Mendes *et al.*, 2004).

## 5.2. PARÂMETROS FÍSICOS E ORGANOLÉTICOS

### 5.2.1. pH

Por definição, o pH é definido como o logaritmo da concentração do ião hidrogénio de uma solução e é uma medida de acidez ou alcalinidade da água. A escala de pH varia entre 0 (muito ácida) e 14 (muito alcalina). O intervalo de pH mais frequente em águas naturais varia entre 6,5 e 8 (EPA, 2001).

Segundo Richter, *et al.* (1991), águas com pH baixo têm tendência a ser corrosivas ou agressivas em determinados metais e águas com pH elevado têm tendência a ser incrustantes.

O pH, apesar de não trazer efeitos nocivos à saúde humana, pode contribuir para a alteração da eficiência de tratamento da água nas etapas de coagulação, floculação, filtração e desinfeção, no caso de ser utilizado o cloro como agente desinfetante. No caso de ser necessário aumentar o pH, recorre-se geralmente ao arejamento da água, diminuindo a concentração de dióxido de carbono ($CO_2$) presente na água ou, em alternativa, pode ser feita, por exemplo, a adição de hidróxido de sódio (NaOH). Caso contrário, no intuito de baixar o pH, são adicionadas soluções ácidas, nomeadamente ácido clorídrico ou gás carbónico (Mendes *et al.*, 2004 e Richter, *et al.* 1991)

### 5.2.2. Temperatura

A temperatura é um parâmetro que tem efeito em propriedades como a velocidade das reações químicas, na solubilidade dos gases e na alteração do estado em que se encontram alguns constituintes da água (EPA, 2001).

Tal como o caso do pH, a temperatura não tem afeta diretamente a saúde humana, contudo pode alterar a eficiência do tratamento da água. Temperaturas demasiado elevadas podem provocar o aumento da taxa de crescimento microbiano, alterando o sabor e odor da água e diminui o pH ótimo da água, alterando a eficiência do processo de floculação. No caso de ser utilizado cloro na água, a temperatura elevada aliada à presença de matéria orgânica, pode potenciar o aumento da formação de trihalometanos (THM). Temperaturas demasiado baixas aumentam a viscosidade da água, diminui as velocidades das operações de decantação e filtração e as reações que ocorrem no processo de desinfeção (Mendes *et al*., 2004).

### 5.2.3. Turvação

A turvação na água deve-se à presença de partículas em suspensão, proveniente de várias fontes, naturais e/ou antropogénicas. A existência de turvação na água afeta a aceitação do consumidor, apesar

de poder não apresentar risco direta na saúde humana. Contudo, visto que a turvação pode ter origens antropogénicas, nomeadamente devido à descarga de efluentes residuais domésticos, existe um risco para a saúde pública associada aos agentes patogénicos que se fixam às partículas suspensas (EPA, 2001).

A eliminação da turvação pode ser conseguida por tratamento convencional, ou seja, pela sequência de tratamento coagulação/floculação/decantação/filtração. A turvação afeta negativamente a etapa de desinfeção (Mendes *et al.*, 2004).

## 5.3. PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

Segundo Mendes *et al.* (2004), coliformes incluem espécies bacterianas como *Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Citobacter e Aerobacter.* A presença deste grupo bacteriano resulta numa água imprópria para consumo humano e, caso esta tenha sido submetida a tratamento, indica que este não teve eficiência ou que não foi adequado. Além do grupo coliforme, microrganismos como vírus e protozoários (*Giárdia lamblia* e *Criptosporidium parvum*) são patogénicos e, como tal, apresentam também perigo para a saúde pública. Na avaliação microbiológica da água, são utilizados indicadores da presença de matéria fecal, de origem humana ou animal (EPA, 2001; Gomes, 2011 e Mendes *et al.*, 2004).

A destruição/inativação de coliformes pode ser conseguido através do processo de desinfeção, existindo atualmente diversos agentes desinfetantes que permitem uma eficiência de tratamento elevada.

## 5.4. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA UTILIZADOS COMO OBJETO DE ESTUDO DE ANÁLISE NOS ESTUDOS DE CASO

O Ministério de Estado da Saúde do Brasil, através das recomendações dos padrões criados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), criou a atual Portaria nº2914, de 12 de Dezembro de 2011, que descreve os procedimentos de controlo e vigilância da qualidade da água para consumo humano bem como o seu padrão de potabilidade.

Os valores máximos permitidos (VMP) relativos aos parâmetros físicos e organoléticos, químicos e microbiológicos que serão utilizados para a análise comparativa do presente estudo são apresentados nas tabelas 7.1, 7.2 e 7.3. Nestas tabelas, apresentam-se também os respetivos valores paramétricos (VP) de Portugal relativos aos parâmetros físicos e organoléticos, químicos e microbiológicos apresentados no Decreto-Lei nº306/2007 de 27 de Agosto de 2007, facilitando assim a comparação dos valores adotados nos dois países.

Tabela 5.1 Parâmetros químicos da qualidade da água para consumo humano.

| | PÂRAMETROS QUÍMICOS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **VMP** | **VP (Portugal)** | **Unidades** | **Riscos para a saúde** |
| Arsénio (Ar) | 0,01 | 0,01 | mg/L | Cancro da pele |
| Bário (Ba) | 0,7 | - | mg/L | Doenças cardiovasculares |
| Cádmio (Cd) | 0,005 | 0,005 | mg/L | Vasoconstrição urinária |
| Chumbo (Pb) | 0,01 | 0,01 | mg/L | Intoxicação aguda |
| Cloreto (Cl) | 250 | 250 | mg/L | Sabor desagradável e corrosão |
| Crómio (Cr) | 0,05 | 0,05 | mg/L | Gastroenterites, hemorragias e convulsões |
| Dureza total (DT) | - | - | mg/L | Depósitos, corrosão e depósitos de sais, que podem ser prejudiciais em alguns equipamentos |
| Fluoreto (F) | 1,5 | 1,5 | mg/L | Afeta o tecido esquelético |
| Fósforo Total ($P_t$) | - | - | mg/L | Aumento da proliferação de microrganismos |
| Manganês (Mn) | 0,1 | 0,05 | mg/L | Anemia, afeta o sistema nervoso |
| Níquel (Ni) | 0,07 | 0,02 | mg/L | Eczemas e intoxicações |
| Nitrato ($NO_3$) (como N) | 10 | 50 | mg/L | Reduz o oxigénio no sangue |
| Nitrito ($NO_2$) (como N) | 1 | 0,5 | mg/L | Reduz o oxigénio no sangue |
| Oxigénio dissolvido (OD) | - | - | mg/L | - |
| Sódio (Na) | 200 | 200 | mg/L | Sabor desagradável |
| Sulfato ($SO_4$) | 250 | 250 | mg/L | Sabor e corrosão |
| Zinco (Zn) | 5 | - | mg/L | Aparência e sabor desagradável |

*FONTE: portaria nº 2914 de 12 Dezembro de 2011; Gomes, 2011 e Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto de 2007)*

Tabela 5.2 Parâmetros físicos e organoléticos da qualidade da água para consumo humano.

| | PARÂMETROS FÍSICOS E ORGANOLÉTICOS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **VMP** | **VP (Portugal)** | **Unidades** | **Riscos para a saúde** |
| pH | - | - | - | Sabor desagradável, corrosão e irritação da pele |
| Temperatura | - | - | ºC | Influência na sensação de odor e sabor da água. |
| Turvação | 5 | 4 | NTU | - |

*FONTE: portaria nº 2914 de 12 Dezembro de 2011; Gomes, 2011 e Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto de 2007)*

Tabela 5.3 Parâmetros microbiológicos da qualidade da água para consumo.

| | PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **VMP** | **VP (Portugal)** | **Unidades** | **Riscos para a saúde** |
| *Escherichia coli* | Ausência em 100ml | Ausência em 100ml | NMP/100 ml ou nº células/100 ml | Doenças gastrointestinais |
| Coliformes totais | Ausência em 100ml | Ausência em 100ml | NMP/100 ml ou nº células/100 ml | Doenças gastrointestinais |

*FONTE: portaria nº 2914 de 12 Dezembro de 2011; Gomes, 2011 e Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto de 2007)*

Foi também tido em conta o índice de estado trófico (IET) no intuito de avaliar o teor algas presentes na água. Segundo Lamparelli (2004), o cálculo do IET baseou-se na concentração de fósforo total, pois este é um indicador de eutrofização das massas de água.

Tabela 5.4 Índice de estado trófico com base na concentração de fósforo total.

| **Estado trófico** | **IET (%)** | **IET (%) (Portugal)** |
|---|---|---|
| *Ultraoligotrófico* | ≤47 | - |
| *Oligotrófico* | 47 a 52 | <10 |
| *Mesotrófico* | 52 a 59 | 10-35 |
| *Eutrófico* | 59 a 63 | >35 |
| *Supereutrófica* | 63 a 67 | - |
| *Hipereutrófico* | >67 | - |

*FONTE: Lamparelli (2004)*

# 6. OPERAÇÕES E PROCESSOS UNITÁRIOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

Neste capítulo apresenta-se, de forma sucinta, os principais processos e operações unitárias passíveis de serem utilizados no tratamento de água por forma a garantir o fornecimento de água com qualidade adequada para consumo humano. Qualidade esta que se encontra normalizada internacionalmente pela OMS e, adotada a nível nacional, pelo Ministério da Saúde do Brasil.

A sequência de operações e processos unitários (sistema de tratamento de água) está dependente da qualidade da água na origem e da qualidade de água requerida para consumo humano. A tipologia do tratamento de água está dependente de fatores económicos, sociais e regionais.

## 6.1. PRÉ-OXIDAÇÃO

O processo de pré-oxidação tem como objetivo oxidar e posteriormente remover ferro e manganês, componentes inorgânicas prejudiciais à saúde humana, compostos orgânicos sintéticos perigosos e compostos responsáveis pelo odor, sabor e cor da água. Os agentes oxidantes têm também ação desinfetante logo, o processo de oxidação é associado igualmente como processo de desinfeção. Esta etapa permite também aumentar a eficiência do processo de coagulação, no sentido de serem necessárias doses inferiores de coagulante (Letterman, 1999).

Os oxidantes mais utilizados neste processo são o cloro, ozono, dióxido de cloro e, em menor expressão, permanganato de potássio. (Letterman, 1999)

O cloro é o oxidante mais utilizado no tratamento de águas, podendo encontrar-se na forma gasosa (dióxido de cloro), liquida (hipoclorito de sódio) ou sólida (hipoclorito de cálcio). Contudo, no caso de existir matéria orgânica presente na água a tratar, a reação desta com o cloro, tal como referido anteriormente, pode originar subprodutos nocivos à saúde humana, denominados trihalometanos (THM). Em alternativa, pode ser utilizado o ozono como agente oxidante. No entanto, deve ser evitado na hipótese de existirem iões brometo, levando à formação de THM de bromo, igualmente prejudiciais à saúde humana. (Letterman, 1999)

O dióxido de cloro é um gás instável em concentrações elevadas, sendo gerado *in situ*, com odor semelhante ao cloro mas com maior solubilidade na água. Apesar da sua utilização não provocar a formação de THM (como é o caso do cloro sob a forma liquida ou sólida), a utilização deste oxidante conduz a dois subprodutos inorgânicos (ião clorito e ião clorato) (Letterman, 1999).

## 6.2. COAGULAÇÃO

Os processos de coagulação e floculação permitem a remoção de partículas coloidais em suspensão, através da agregação destas em aglomerados (flocos) com dimensões suficientes para serem removidos da solução por decantação ou filtração. Os colóides incluem agentes patogénicos, argilas, compostos tóxicos adsorvidos nas partículas suspensas, compostos responsáveis pela formação de subprodutos na etapa de desinfeção (Davis, 2010).

Segundo Richter *et al.* (1991), a coagulação é um processo que tem como objetivo reduzir as forças de repulsão entre as partículas em suspensão, através da adição de agentes coagulantes. Este processo, materializado por uma etapa de mistura rápida, permite a distribuição uniforme do agente coagulante na água, num curto intervalo de tempo, destabilizando as componentes coloidais não sedimentáveis e hidrófobas ($10^{-3}$µm a 1µm), de carga negativa, para posteriormente aumentar a probabilidade de agregação entre estas (Almeida, 2012).

A seleção do tipo e dosagem do agente coagulante a adicionar depende de fatores como a natureza e concentração de partículas a remover, pH, alcalinidade, temperatura. Os agentes coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio, cloreto de alumínio, aluminato de sódio, cloretos de polialumínio, sulfatos de polialumínio, cloreto férrico e sulfato férrico e coagulantes orgânicos catiónicos (Davis, 2010).

As condições ótimas do processo de coagulação na remoção de turvação dependem essencialmente da dose de coagulante e do pH da água. Devido ao número e à complexidade das reações neste processo, estes dois fatores são determinados por testes laboratoriais, denominado “Jar test” que, por várias simulações, determina qual a dose ótima de agente coagulante a adicionar, dependendo do pH e turvação da água. Geralmente, as dosagens variam entre 5 mg/l a 100 mg/l no caso do alumínio, 5 mg/l a 70mg/l para o cloreto férrico, 8mg/l a 80mg/l para o sulfato férrico e 1mg/l a 4mg/l para os coagulantes orgânicos catiónicos. Relativamente ao pH, sais de alumínio podem ser utilizados em valores de pH entre 5,5 e 7,7 e sais de ferro no intervalo de 4 a 9 (Davis, 2010 e Almeida, 2012).

A alcalinidade também é, igualmente, um fator que influencia as condições ótimas do processo de coagulação. O agente coagulante, de natureza catiónica, reage com compostos aniónicos, incluindo as bases constituintes da alcalinidade. Tendo em conta que na ausência de alcalinidade a diminuição do pH é muito rápida, é necessário adicionar um agente alcalino antes do processo, no intuito de evitar uma diminuição brusca do pH que altera a eficiência da etapa de coagulação (Almeida, 2012).

A dispersão eficiente do coagulante é garantida pelo grau de agitação, medido pelo gradiente de velocidade (G) e pelo tempo de mistura da água com o agente coagulante, através de dispositivos mecânico ou hidráulicos. Valores de G inferiores ao valor mínimo recomendado não garantem uma

agitação eficiente porém, valores superiores ao valor máximo recomendado provocam a destruição de flocos formados inicialmente.

Caso sejam utilizados equipamentos mecânicos (nomeadamente turbinas), devem ser utilizados valores de G entre 300 a 600 $s^{-1}$ com tempos de mistura entre 20 a 30 segundos. No caso de dispositivos que utilizam a energia hidráulica, através do fenómeno de ressalto hidráulico, para garantir condições de mistura, são recomendados intervalos de G entre $800s^{-1}$ e 1000 $s^{-1}$ e tempos de mistura entre dois e três segundos (Twort *et al.*, 2000).

## 6.3. FLOCULAÇÃO

Segundo Richter *et al.* (1991), a floculação, materializada por uma etapa de mistura lenta, tem como objetivo a aglomeração das partículas previamente destabilizadas, formem flocos de tamanho adequado, para que possam sedimentar por gravidade, para posterior remoção. A agregação das partículas pode ser feita por mecanismos como a floculação pericinética (movimento aleatório das partículas coloidais devido à pressão exercida pelas moléculas de água) ou ortocinética (o contato das partículas advém do movimento do fluido, utilizando G).

A mistura lenta pode ser assegurada por dispositivos mecânicos ou hidráulicos, em que a sua eficiência, tal como a mistura rápida, depende do grau de agitação (G) e do tempo de mistura no processo. Valores de G superiores aos recomendados podem provocar a rutura dos flocos formados porém, valores de G demasiado baixos podem originar a sedimentação dos flocos. Segundo Twort *et al*. (2000), o tempo de detenção hidráulico varia entre 20 a 30 minutos para valores de G entre 20 e $100s^{-1}$. O floculador deve ser divido em pelo menos três compartimentos, por forma a permitir a diminuição gradual do gradiente de velocidade, à medida que os flocos aumentam de tamanho, evitando a sua destabilização e posterior rutura. A existência de compartimentos permite também diminuir os tempos de retenção e as zonas de curto-circuito (Davis, 2010 e Almeida, 2012).

A mistura lenta é assegurada por dispositivos mecânicos ou hidráulicos. No caso da floculação mecânica, as condições de mistura são garantidas pela utilização de hélices, turbinas ou pás que adquirem movimento giratório. Relativamente aos dispositivos hidráulicos, os floculadores de chicanas são os mais utilizados, onde é utilizada a energia dissipada sob a forma de perda de carga, utilizando compartimentos em série interligados entre si e onde a água é obrigada a contornar chicanas, garantindo as condições de mistura (Richter *et al.*, 1991).

## 6.4. DECANTAÇÃO

A operação unitária decantação apresenta como principal objetivo a separação física das partículas sólidas em suspensão por ação da gravidade. As partículas que não são removidas nesta fase do tratamento são removidas, em princípio, na filtração (Richter *et al.*, 1991).

O parâmetro fundamental de avaliação de eficiência desta operação é a carga superficial ou carga hidráulica (Ch). A carga hidráulica traduz-se numa relação entre o caudal afluente ao decantador e a área de decantação disponível, de forma a assegurar que as partículas em suspensão, com velocidade superior à carga hidráulica fiquem retidas no decantador.

O fluxo na decantação pode ser horizonta ou vertical. No caso do fluxo horizontal, este tem a vantagem de ser simples, eficiente e com baixa sensibilidade relativamente a condições de sobrecarga (Richter *et al.*, 1991)

Relativamente à configuração em planta, os decantadores podem ter a forma retangular ou circular. No último caso, a água a tratar entra pelo fundo do decantador e o fluxo adquire direção radial, passando por descarregadores nas margens da estrutura.

Os tipos de sedimentação existentes são de partículas discretas, floculenta, retardada ou por compressão. Os critérios de dimensionamento a ter em conta na eficiência desta etapa são o tempo de retenção hidráulico (h) e a carga hidráulica ($m^3/m^2.h$). Segundo Richter *et al*. (1991), para instalações pequenas, em decantadores convencionais, recomendam-se tempo de retenção de pelo menos três horas. A carga hidráulica deve ter valores até 1 $m^3/m^2.h$ (Swartz, 2000, citado por Gomes, 2011).

## 6.5. FILTRAÇÃO

A filtração consiste na separação sólido-liquido, através da percolação de água por um meio poroso, podendo este ser constituído por uma única camada (camada simples) ou várias justapostas. Os materiais normalmente utilizados como meio filtrante são a areia, antracite, carvão ativado granulado, brita cálcarea ou diatomáceas.

Na sequência de processos e operações unitárias, a etapa de filtração, denominada por filtração convencional, ocorre na sequência da decantação (para valores de turvação elevados). Contudo, existem situações em que a etapa de filtração ocorre imediatamente a seguir à floculação, designada por filtração direta (para valores inferiores a 15NTU), ou a seguir ao processo de coagulação, denominada de filtração em linha (até 10 NTU) (Davis, 2010).

A taxa de filtração pode ser constante, com ou sem variação de nível, ou declinante, igualmente com ou sem variação de nível. Dependo da taxa de filtração, os filtros podem ser classificados como filtros rápidos (entre 4 a 6 $m^3/m^2.h$ no caso do leito filtrante com camada simples e entre 6 a 12 $m^3/m^2.h$

no caso de multicamada de areia e antracite), caso a velocidade seja elevada, ou como filtros lentos, no caso de a velocidade ser baixa (0,1 a 0,54 $m^3/m^2.h$) (Twort *et al.*, 2000 e Almeida, 2012b).

Os filtros lentos são eficientes na redução de turvação, bactérias e vírus, são simples, de baixa manutenção, baixo custo e não necessitam de sistema de lavagem mas sim de limpeza periódica, através da raspagem, caso se verifique diminuição da taxa de filtração. Caso a água a filtrar apresente valores de turvação elevados, recomenda-se que seja feito um pré-tratamento antes da filtração, evitando a rápida colmatação do meio filtrante (Gadgil, 1998).

Por outro lado, os filtros rápidos são mais compactos, permitem a redução eficiente de matéria suspensa e alguns microrganismos patogénicos presentes na água e conseguem quantidades elevadas de água filtrada num período de tempo relativamente curto. Contudo, requerem lavagem automática entre períodos de funcionamento que podem ir até 24 a 72 horas, quando o leito filtrante atinge o nível máximo de colmatação, diminuindo a velocidade de filtração e aumentando a perda de carga acima do meio filtrante (Gadgil, 1998).

## 6.6. DESINFEÇÃO

Segundo Richter *et al.* (1991), a desinfeção tem como objetivo a destruição/inativação dos microrganismos patogénicos presentes na água. Existem vários agentes desinfetantes utilizados nesta etapa, sendo geralmente mais utilizados compostos de cloro, ozono, cloraminas e radiação ultravioleta (UV).

A escolha do agente desinfetante mais adequado depende de fatores como a natureza e o número de organismos a serem destruídos/inativados, a concentração a utilizar, a temperatura a que se encontra a água (a velocidade de desinfeção é proporcional à temperatura), o tempo de contato (a eficiência de desinfeção é tanto maior quanto maior o tempo de contato) e as caraterísticas e pH da água a desinfetar (Davis, 2010).

Segundo Davis (2010), os agentes desinfetantes necessitam de possuir as seguintes propriedades, por forma a permitir uma desinfeção eficiente:

- Necessitam de destruir os vários tipos e números de agentes patogénicos que podem estar presentes na água, num determinado período de tempo tendo em conta um dada variação de temperatura;
- Devem estar preparados para possíveis flutuação na composição e condições da água a tratar;
- Não podem ser tóxicos para os humanos e para animais domésticos;
- A determinação da concentração a utilizar deve ser determinada rapidamente e, de preferência automaticamente;

- Devem ter um custo acessível;
- Devem ser seguros e de fácil transporte, armazenamento, manuseamento e aplicação;
- Devem garantir proteção residual, no intuito de evitar possível recontaminação após desinfeção.

De todos os agentes desinfetantes referidos anteriormente, o cloro é o agente desinfetante mais utilizado, pois é o método mais simples e económico e garante a presença de residual. Este agente desinfetante pode encontrar-se sob a forma liquida, como hipoclorito de sódio (NaOCl), sob a forma sólida, como hipoclorito de cálcio [$Ca(OCl)_2$] e sob a forma gasosa, como dióxido de cloro ($Cl_2$). Contudo, o cloro ao reagir com matéria orgânica contribui para a formação de subprodutos cancerígenos, incluindo trihalometanos. As cloroaminas, compostos resultantes da reação do cloro com o amoníaco, também reagem com MO para formar subprodutos similares aos formados pela cloragem mas em concentrações menores (Davis, 2010 e Almeida, 2012c).

O dióxido de cloro é um radical livre estável que em concentrações elevadas reage fortemente com agentes reduzidos. Este gás é formado *in situ* pela combinação de cloro com cloreto de sódio (Davis, 2010).

O ozono é um gás instável, logo deve ser gerado no local de utilização, através de uma descarga elétrica originado um fluxo de eletrões que provocam a dissociação das moléculas de oxigénio para posterior formação de ozono (Davis, 2010). Contudo, a desinfeção por este agente desinfetante não tem ação residual, podendo haver o risco de recontaminação da água no sistema de distribuição ou no armazenamento da água tratada.

Como alternativa aos agentes químicos, existe a possibilidade de recorrer a agentes desinfetantes físicos como é o caso da radiação UV. Este tipo de desinfeção consiste na exposição da água a uma lâmpada, com comprimentos de onda entre 200 a 300 nanometros (nm), inativando os microrganismos patogénicos através da destruição do DNA. Tal como a desinfeção por ozono, a desinfeção por radiação UV não tem ação residual. É desaconselhada a utilização deste agente desinfetante no caso da água a desinfetar conter valores elevados de turvação (White, 2010).

Segundo Stevenson (1997) a pasteurização, apesar de ser mais utilizada na indústria alimentar, pode também ser aplicada no tratamento de água, mais precisamente na etapa de desinfeção em situações de emergência. A pasteurização é, portanto, um método de desinfeção que utiliza o calor para destruir os agentes patogénicos.

## 6.7. ADSORÇÃO

A etapa de adsorção consiste na transferência de compostos orgânicos e/ou inorgânicos (adsorvato) da fase líquida para uma superfície sólida (adsorvente), ficando aí adsorvidos. Os principais objetivos passam pela remoção, através do fenómeno de adsorção, de compostos orgânicos responsáveis pelo sabor, odor e toxicidade na água e, de compostos inorgânicos de elevado peso molecular, nomeadamente alguns metais pesados.

Os adsorventes geralmente utilizados no tratamento de água incluem carvão ativado, alumina ativada, óxidos metálicos, hidróxidos e carbonatos e outros sólidos suspensos em contato ou presentes na água (Letterman, 1999).

No caso da remoção de compostos orgânicos, os principais adsorventes utilizados são o carvão ativado granulado e em pó. O carvão ativado granulado (CAG) é constituído por partículas de tamanho irregular, que variam entre 0,2 a 5mm. O carvão ativado em pó (CAP) apresenta variações de tamanho menores que 0,18mm. A utilização de CAG como adsorvente é muitas vezes utilizado na adsorção dos compostos orgânicos resultantes do processo de ozonização. A utilização de CAP é vantajosa nos casos em que este tipo de tratamento não é necessário durante todo o ano, pois este adsorvente pode ser doseado diretamente e com dosagem flexível, por forma a remover o teor de contaminante quando necessário (Letterman, 1999 e Almeida 2013a)

Relativamente aos compostos inorgânicos, os principais tipos de tratamento que utilizam a adsorção para remover os contaminantes presentes na água são a alumina ativada e óxidos de ferro (no caso da remoção de arsénio).

A alumina ativada (AA) consiste na adsorção do contaminante pela parte superficial oxidada do adsorvente. Este tipo de tratamento utiliza óxidos de alumina amorfa e gama que, através de da passagem da água contaminada por este material, permite que exista uma troca iónica entre o contaminante e os hidróxidos contidos na superfície da alumina. Este tratamento, contrariamente ao processo de permuta iónica, permite remover contaminantes presentes em águas com elevado teor de turvação. A AA é utilizada geralmente na remoção do teor de fluoreto e arsénio (Letterman, 1999 e Sousa, 2013).

A adsorção por AA tem o inconveniente de possuir custos elevados, pois o leito necessita de ser regenerado após ser atingida a saturação. A regeneração é feita inicialmente pela utilização de uma base forte (normalmente hidróxido de sódio), seguida de lavagem com água e finalmente por um ácido forte (normalmente ácido sulfúrico), com o objetivo de neutralizar (Sousa, 2013).

Tal como o caso da alumina ativada, a utilização de óxidos metálicos, hidróxidos e carbonatos e outros sólidos suspensos em contato ou presentes na água, permitem que os contaminantes a serem removidos sejam adsorvidos pelos hidróxidos presentes no adsorvente. A adsorção por hidróxidos de

ferro tem como vantagem, relativamente à AA, a capacidade de serem reutilizados por um maior período de tempo antes de atingirem o seu ponto de saturação (Sousa, 2013).

## 6.8. PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

A separação por membranas é um processo que, através de membranas semipermeáveis, permite a separação dos contaminantes presentes na água, recorrendo a pressão hidráulica como força motriz. As tecnologias incluídas neste tipo de tratamento de água são a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. A pressão hidráulica aplicada provoca a passagem do permeado (água) pela membrana, deixando para trás o caudal de água rejeitado (contaminantes) (WHO, 2007).

A progressão da microfiltração (MF) para ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI) corresponde à diminuição sucessiva da porosidade das membranas e, consequentemente ao aumento da pressão necessária para permitir a passagem do fluido pelas membranas, com rejeição do concentrado (contaminantes) (Edzwald, 2011),

A tabela seguinte diz respeito aos valores relativos à força motriz necessária à passagem do solvente, porosidade média da membrana, assim como à enumeração dos contaminantes passíveis de serem removidos e possíveis aplicações das tecnologias de MF, UF, NF e OI.

Tabela 6.1 Força motriz, porosidade media, constituintes a remover e aplicações correspondentes às tecnologias de MF, UF, NF e OI.

| **Processos** | **Força Motriz (bar)** | **Porosidade média (µm)** | **Constituintes a remover** | **Aplicações** |
|---|---|---|---|---|
| **Microfiltração (MF)** | 1 a 5 | 0,02 a 10 | Sólidos Suspensos e bactérias | Destruição/inativação bacteriana, Remoção da turvação, clarificação de vinhos e cervejas |
| **Ultrafiltração (UF)** | 2 a 10 | 0,001 a 0,02 | Vírus e compostos orgânicos de elevado peso molecular | Destruição/inativação bacteriana, vírus, Recuperação de pigmentos/óleos, Remoção de sabor e odor |
| **Nanofiltração (NF)** | 5 a 50 | 0,00001 a 0,005 | Compostos orgânicos de baixo peso molecular e compostos bivalentes | Remoção de dureza, remoção de subprodutos resultantes da desinfeção |
| **Osmose Inversa (OI)** | 10 a 101 | Meio não poroso | Compostos monovalentes | Dessalinização, desmineralização |

*FONTE: Edzwald (2011), Habert (2006) e Almeida (2013).*

# 7. ESTUDOS DE CASO

## 7.1. SELEÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Com base na informação recolhida no capítulo 4 e os dados dos censos demográficos do Brasil de 2010, foram escolhidos três municípios (Campos de Júlio, Pracuúba e Faro) em três estados diferentes (Mato Grosso, Amapá e Pará), tendo como critérios:

- Número de habitantes, entre 1000 e 3500, sem acesso ao serviço de abastecimento de água;
- Condições socioeconómicas destes habitantes.

O facto dos três estados se situarem na região hidrográfica da Amazónia, é justificada pela escassez do recurso não ser física mas sim devido a fatores económicos, visto que, apesar da RH da Amazónia apresentar o maior caudal a nível nacional, apresenta apenas uma densidade populacional menor que 5 habitantes/km$^2$ sendo que, parte da população residente nesta região não tem acesso ao serviço de abastecimento de água local (Hermes *et al*, 2006).

## 7.2. CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÓMICA E DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMUNIDADES A ABASTECER

Neste capítulo são feitas as contextualizações relativamente às condições socioeconómica e do serviço de abastecimento de água dos locais de estudo selecionados (municípios de Campos de Júlio, Pracuúba e Faro). A análise destes fatores é crucial para que seja não só conhecida a dimensão populacional a abastecer em cada estudo de caso, como também sejam conhecidas as condições sociais e económicas, no intuito de serem estudadas as alternativas mais adequadas à comunidade a servir. A viabilidade na implementação de um sistema de tratamento de água depende não só da eficiência das linhas de tratamento, mas também da aceitação social e dos recursos económicas da comunidade local.

No caso da caraterização socioeconómica e do serviço de abastecimento de água dos municípios selecionados, utilizaram-se os censos demográficos de 2010 do Brasil por forma a determinar o número da população sem rendimento económico mensal e sem acesso à rede geral de abastecimento de água para cada local de estudo.

Tendo em consideração que parte da informação disponível apenas se refere ao universo domiciliar, foi necessário traduzir os valores para o universo populacional. Assim, utilizando igualmente os censos demográficos de 2010, soube-se o número médio de habitantes por domicílio. Para as três regiões alvo de estudo existem em média quatro habitantes por cada unidade residencial.

Considerou-se que a população sem acesso ao serviço de abastecimento de água não possui qualquer rendimento monetário mensal pois, segundo a definição de pobreza descrita no capítulo 4, existe um valor mínimo de rendimento *per capita* para que um individuo tenha acesso às necessidades básicas, nomeadamente na saúde (incluindo o acesso a água potável).

### 7.2.1. Estudo de caso A- Campos de Júlio

O município de Campos de Júlio pertence ao estado de Mato Grosso. O estado localiza-se na região Centro-Oeste do Brasil, fazendo fronteira a norte com os estados de Amazonas e Pará, a este com os estados de Tocantis e Goiás, a sul com os estados de Mato Grosso do Sul e a oeste com os estados de Rondônia e Bolívia. Mato Grosso conta com uma área de cerca de 903 366,192 km$^2$ com 141 municípios e com uma população total de 3 035 122 habitantes (IBGE,2010) A cidade de Campos de Júlio tem como limites territoriais com as cidades de Sapezal e Tangará da Serra, a sul com Conquista D'Oeste e a oeste com os municípios de Nova Lacerda e Comodoro. Segundo os censos de 2010, a população de Campos de Júlio conta 5 778 habitantes distribuídos numa área de 68 018,57 km$^2$ e com uma densidade populacional de 0,76 hab/km$^2$.
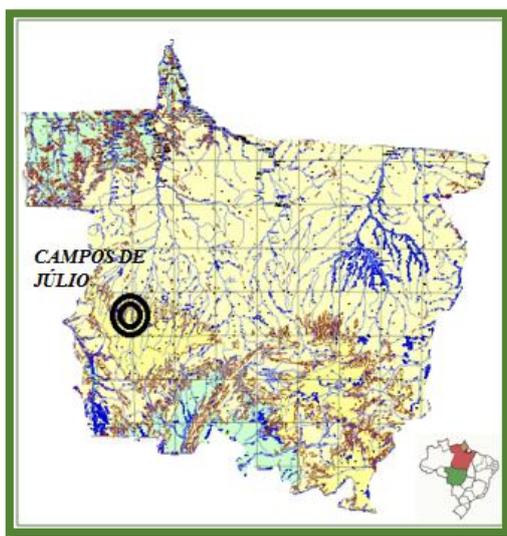
Figura 7.1 Mapa físico do estado de Mato Grosso (Fonte: Adaptado de IBGE, 2012).

A base económica do município concentra-se na agricultura, nomeadamente na exploração de soja milho e algodão. O rendimento nominal médio mensal *per capita* dos domicílios particulares permanentes é cerca de 410,78 euros (1325,11 reais), valor superior ao salário mínimo nacional. Do

total da população, cerca de 1 457 habitantes com pelo menos 10 anos não possuem qualquer fonte de rendimento, o que equivale a 25% da população total (IBGE, 2010).

A rede de abastecimento de água nos municípios do estado de Mato Grosso (incluindo Campos de Julio) é da responsabilidade da Companhia de Saneamento da Capital (SANECAP). A SANECAP é responsável por abastecer cerca de 82 % da população. Não foram encontrados dados relativos à tarifa média da água neste município. Contudo, cerca de 18% da população, o que equivale a 1014 habitantes, não tem acesso ao serviço de abastecimento de água e não possui qualquer rendimento (IBGE, 2010 e SNIS, 2012).

### 7.2.2. Estudo de caso B- Pracuúba

O município de Pracuúba faz parte do estado de Amapá. Este estado está localizado no extremo norte do Brasil com uma área de cerca de 14,8 milhões de hectares, distribuídos em dezasseis municípios. A sul e sudoeste faz fronteira com o estado do Pará e as fronteiras norte e noroeste são internacionais com a Guiana Francesa. A parte leste deste estado é banhada pelo oceano Atlântico, todavia ainda sofre uma importante influência da descarga sedimentar do rio Amazonas (Oliveira, 2010).

Em 2010, a população do estado de Amapá estimava-se em 669 526 habitantes, nos quais 3 793 pertencem ao município de Pracuúba distribuídos numa área de 4 956 477 km$^2$. Pracuuba faz fronteira a norte e a este com o município de Amapá, a oeste com o município de Calçoene e a sul com o município de Tartarugalzinho e Ferreira Gomes. Esta cidade é conhecida por ser uma pequena cidade ribeirinha, não só pela sua paisagem, mas também pela sua reduzida densidade populacional de 0,77 habitantes por km$^2$ (IBGE, 2010).
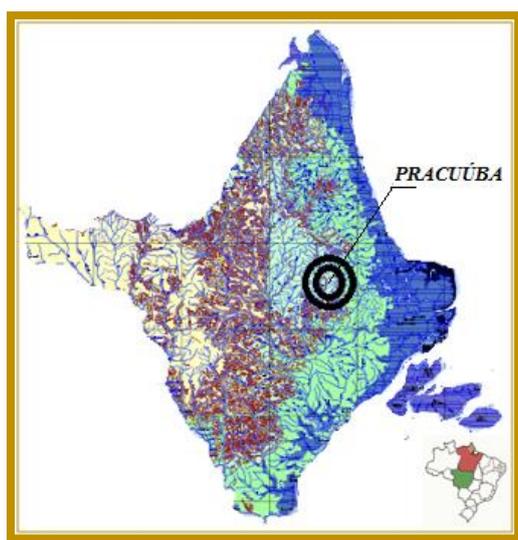
Figura 7.2 Mapa físico do estado de Amapá (Fonte: Adaptado de IBGE, 2012a).

Atualmente Pracuúba tem como principal fonte económica a pesca em águas lacustre e fluvial e, de acordo com Silva (2011), a economia depende essencialmente do funcionalismo publico e dos programas assistenciais do governo federal. Segundo os censos de 2010, o valor do rendimento nominal média mensal *per capita* dos domicílios particulares permanentes é cerca de 137 euros (319,43 reais), valor inferior ao salário mínimo nacional de 219 euros (510 reais) (Lei nº12 255, 15 Junho 2010). Do total da população do município, existem cerca de 1517 pessoas sem rendimento, o que equivale a uma percentagem de 40% da população total.

A rede de abastecimento de água nos municípios do estado de Amapá (incluindo Pracuuba) é da responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA). A CAESA é responsável por abastecer cerca de 22% da população, com uma tarifa média de 1,85 reais/m$^3$ (SNIS,2010). Contudo, segundo os censos de 2010, cerca de 78% da população, o que equivale a 2945 habitantes, não tem acesso ao serviço de abastecimento de água. Sendo que destes 2945 habitantes, 1517 não tem acesso à água potável e não possui rendimento mensal. Os restantes 1428 habitantes não tem acesso à água potável mas possuem algum rendimento mensal. (IBGE, 2010 e SNIS, 2012).

### 7.2.3. Estudo de caso C- Faro

O estado de Pará, vizinho do estado de Amapá, faz fronteira internacional com o Suriname e a Guiana e possui 144 municípios distribuído numa área de 1 247 950 km$^2$. O município de Faro pertence ao estado de Pará, fazendo fronteira com os municípios de Oriximiná e Terra Santa e com o estado de Roraima e Amazonas e conta com uma área de cerca de 11 771 km$^2$. Conforme os censos demográficos de 2010, o estado de Pará conta com 7 581 051 habitantes, nos quais conta 8 177 pertencem ao município de Faro. Este município conta com uma densidade demográfica baixa, ou seja, com cerca de 0,69 habitantes por km$^2$.
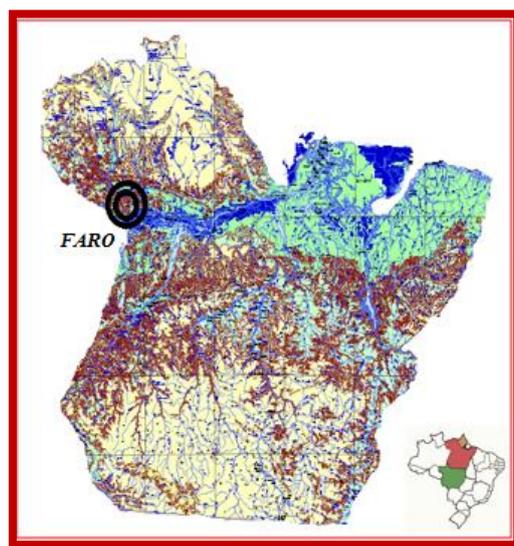
Figura 7.3 Mapa físico do estado de Pará (Fonte: Adaptado de IBGE, 2012b).

A economia do município de Faro depende essencialmente do funcionalismo público e dos programas assistenciais do Governo Federal (Silva, 2011). Sabe-se que o valor do rendimento nominal médio mensal *per capita* dos domicílios particulares permanentes é de 100 euros (233,38 reais), valor inferior ao salário mínimo. Existem 3 321 pessoas sem rendimento, o que equivale a uma percentagem de 41% (IBGE, 2010).

A rede de abastecimento de água nos municípios do estado de Pará (incluindo Faro) é da responsabilidade da Companhia de Saneamento do Pará (CONSANPA). A CONSANPA é responsável por abastecer cerca de 62% da população, com uma tarifa média de 69 cent/m$^3$ (1,61 reais/m$^3$) (SNIS,2010). Contudo, cerca de 38% da população, o que equivale a 3 073 habitantes, não tem acesso ao serviço de abastecimento de água. A totalidade dos 3 073 habitantes não tem acesso ao serviço de abastecimento de água e não possui rendimento mensal. (IBGE, 2010 e SNIS, 2012).

## 7.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ORIGENS DA ÁGUA PARA CAPTAÇÃO DA ÁGUA BRUTA EM CADA ESTUDO DE CASO

A seleção dos locais como objeto de estudo para captação da água bruta foi feita, tendo em conta a informação obtida, através da avaliação da qualidade de água em diferentes zonas do Brasil.

No presente trabalho não foi possível a recolha de dados *in situ* e, como tal, a informação relativa aos dados de qualidade da água baseou-se num projeto independente intitulado "Brasil das Águas", da autoria do engenheiro mecânico, empresário e piloto, Gérard Moss e pela sua mulher Margi Moss, licenciada em letras.

Este projeto, apoiado por empresas, entidades governamentais como a "Agência Nacional de Águas" (ANA) e instituições de ensino a nível universitário, decorreu entre outubro de 2003 e dezembro de 2004, recolhendo cerca de 1 160 amostras de água doce de rios e lagos distribuídos pelo território brasileiro utilizando como meio de transporte um avião anfíbio. As amostras foram enviadas para posterior análise de 43 parâmetros a nível físico-químico e microbiológico, a várias Universidades no Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Através dos resultados obtidos foi desenhado um mapa que caracteriza a qualidade das águas doces das zonas abrangidas pelo estudo, no intuito de alertar e consciencializar a população dos locais a conservar e a tratar (ver Anexo A).

No ano de 2004 o projeto "Brasil das Águas" ganhou o Prémio Ambiental "Von Martius" na categoria Natureza. O Prémio Ambiental "Von Martius" foi criado em 2000 pela Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha, atualmente denominado de Prémio "Von Martius" de Sustentabilidade, com o intuito de reconhecer projetos a nível nacional que promovem o desenvolvimento socioeconómico e cultural baseando-se no conceito de sustentabilidade.

As origens da água selecionadas para captação da água bruta para os municípios de Campos de Júlio, Pracuuba e Faro foram o rio Juruena, lago Piratuba e rio Nhamundá, respetivamente.

### 7.3.1. Caracterização física

Segundo a Agência Nacional das Águas (2012), a região hidrográfica Amazónica tem uma área de 3,87 milhões de $km^2$, o que equivale a cerca de 45% da área total do Brasil. Os estados que se encontram integrados nesta região são o estado de Acre, Amapá, Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso e Pará. O rio Juruena, Nhamundá e o Lago Piratuba, estudos de caso analisados no presente trabalho, pertencem ao estado de Amapá, Mato Grosso e Pará.

O rio Juruena situa-se no estado de Mato Grosso, pertencendo à sub-bacia do rio Tapajós e à bacia hidrográfica do Amazonas, tendo uma extensão de cerca de 970 km. Os seus principais cursos de água pela margem esquerda são os rios Juína Mirim, Camararé e Juína e, pela margem direita os rios Arinos, do Sangue e Papagaio. A nascente do rio Juruena pertence ao município de Pontes e Lacerda e a sua foz no rio Teles Pires, no município de Apiacás (Neves, 2007).

A Reserva Biológica do Lago Piratuba perfaz um total de 357 000 hectares e é uma unidade de proteção integral, que tem como fins a preservação integral da biota e dos seus atributos naturais existentes, sem interferência humana direta ou modificações ambientais. A localização da reserva está situada no extreme leste do Estado de Amapá, inserida nos municípios de Amapá e Tartarugalzinho e tendo como fronteira os municípios de Pracuúba e Cutias com o rio Macarri a limitar o seu território a Norte (Júnior, 2007).

O rio Nhamundá tem como principal afluente da margem esquerda o rio Paraná-Pitinga e desagua no rio Amazonas, dividindo os estados do Pará e do Amazonas. O curso superior é caracterizado pela existência de várias cascatas seguidas de um vale longo e plano que conflui com o rio Paracatu com 40 km de comprimento e 4 km de largura. A sub-bacia hidrográfica insere-se nos municípios de Faro e Terra Santa (Guapindaia, 2008).

### 7.3.2. Clima

O clima na zona do local de estudo no estado de Mato Grosso é caracterizado por ser um clima tropical quente semi-húmido, com humidade relativa inferior a 70%, com temperaturas superiores a 18ºC, com precipitação maioritariamente no verão (21 de Dezembro a 21 de Março) e outono (21 de Março a 21 de Junho) e com 4 a 5 meses secos no inverno (21 de Junho a 23 de Setembro), com médias anuais de 800 mm (IBGE, 2002 e Júnior, 2012).

O lago Piratuba e o rio Nhamundá estão localizados em zonas caraterizadas pelo clima quente húmido, com temperaturas superiores na 18ºC durante todo o ano e com 3 meses secos. Nos locais de estudo relativos ao estado de Pará e de Amapá, o trimestre mais chuvoso é entre Fevereiro e Abril e o trimestre menos chuvoso é entre Agosto e Outubro. As temperaturas médias são sempre acima de 25ºC em todos os meses do ano, com as menores temperaturas em Fevereiro e com as temperaturas mais elevadas no mês de Outubro. A temperatura aumenta continuamente de Fevereiro a Outubro e decrescendo a partir de Novembro (Moraes *et al.*, 2005 e IBGE, 2002).

### 7.3.3. Caracterização da qualidade da água

A caraterização da qualidade da água na sua origem para captação, em cada local de estudo, teve como base os parâmetros de qualidade da água considerados no capítulo 5 e os VMP apresentados nas tabelas 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4. Embora os dados recolhidos quantifiquem a nível bacteriológico, não especificam a presença de coliformes fecais. No entanto, sendo que estes organismos estão usualmente presentes nas origens de águas, admitiu-se que, para a pior hipótese, o valor bacteriológico fornecido correspondia ao valor dos coliformes totais (Moss, 2013).

O local da recolha da amostra de água do rio Juruena situa-se entre o município Campos de Júlio e Sapezal, com latitudes de 13º 22' 00,66'' S e longitude de 59º 00' 02,7'' O. A análise da qualidade da água foi feita em 13 de Novembro de 2003, período de menor caudal. A partir da análise dos valores apresentados na tabela 7.5, 7.6 e 7.7, verificou-se que o rio Juruena ultrapassa dos VMP relativamente à contaminação microbiológica (Moss, 2013).

Relativamente ao Lago Piratuba, a amostra foi recolhida em 30 de Agosto de 2004, período menos chuvoso característico do clima da região. O local de recolha situa-se na Reserva Biológica no Lago Piratuba, mais precisamente nas coordenadas 01º 37' 06,9'' N e 50 10 01,62 O. A partir da tabela 7.5, 7.6 e 7.7, verificou-se que o local de estudo ultrapassa os VMP relativamente à contaminação microbiológica e de turvação. Adicionalmente, tendo em consideração a equação (1) dada por Lamparelli (2004), calculou-se o índice de estado trófico (IET) tendo em consideração a tabela 7.4 e com base na informação relativa ao teor de fósforo total fornecida pela tabela 7.5.

$$IET = 10[6 - \frac{\ln\left(\frac{80,32}{Pt}\right)}{ln2}] \qquad (1)$$

Assim, para um teor de fóforo total de 192,11 µg/L associado a um IET de 73%, conclui-se que o lago Piratuba se encontra hipereutrofizado

A avaliação da qualidade de água no rio Nhamundá recorreu a uma amostra situada entre o município de Faro e o de Nhamundá, com latitude de 01º 58' 21,18'' S e longitude de 56º 54' 06'' WA análise da qualidade da água foi feito em 22 de Agosto de 2004, período relativo ao trimestre menos

chuvoso. Analisando os valores apresentados na tabela 7.5, 7.6 e 7.7, verificou-se que o rio Nhamundá ultrapassa os VMP em relação à contaminação microbiológica e ao teor do metal pesado arsénio (Moss, 2013).

Tabela 7.1 Parâmetros químicos da qualidade da água para consumo humano relativamente ao rio Juruena, Lago Piratuba e Rio Nhamundá

| | **PÂRAMETROS QUÍMICOS** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Rio Juruena | Lago Piratuba | Rio Nhamundá | VMP |
| As (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,01 |
| Ba (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,70 |
| Cd (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | $5{,}00\times10^{-3}$ |
| Cl (mg/L) | 0,04 | 54,58 | 0,94 | 250 |
| Cr (mg/L) | 0,00 | $7{,}00 \times 10^{-3}$ | $2{,}00 \times10^{-4}$ | 0,05 |
| DT (mg/L) | 0,49 | 21,44 | 3,9 | 500 |
| F (mg/L) | $0{,}29 \times 10^{-3}$ | $4{,}06 \times 10^{-3}$ | 0,02 | 1,50 |
| Mn (mg/L) | 0,00 | 8,70 x 10-3 | 7,0 x 10-3 | 0,1 |
| Na (mg/L) | 0,20 | 35,54 | 0,77 | 200 |
| Ní (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,07 |
| $NO_2$ (mg N/L) | $12{,}77 \times 10^{-3}$ | 0,00 | $25{,}82 \times 10^{-3}$ | 1 |
| $NO_3$ (mg N/L) | 0,00 | $0{,}55 \times 10^{-3}$ | $0{,}18 \times 10^{-3}$ | 10 |
| OD (mg/L) | 7,40 | 7,73 | 6,12 | - |
| Pb (mg/L) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Pt (mg/L) | $18{,}56 \times 10^{-3}$ | $192{,}11 \times 10^{-3}$ | $18{,}04 \times 10^{-3}$ | - |
| $SO_4$ (mg/L) | 12,79 | 8,48 | 0,186 | 250 |
| Zn (mg/L) | 0,00 | 0,00 | $6{,}10 \times10^{-3}$ | 5 |

*FONTE: Moss (2013) e portaria nº 2914 de 12 Dezembro de 2011*

Tabela 7.2 Parâmetros físicos e organoléticos da qualidade da água para consumo humano relativamente ao rio Juruena, Lago Piratuba e Rio Nhamundá

| | PÂRAMETROS FÍSICOS E ORGANOLÉTICOS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Rio Juruena | Lago Piratuba | Rio Nhamundá | VMP |
| pH | 5,99 | 9,51 | 5,96 | 6 a 9,5 |
| Temperatura (ºC) | 26,49 | 30,86 | 29,08 | - |
| Turvação (NTU) | 1,00 | 57 | 1,4 | 5 |

*FONTE: Moss (2013) e portaria nº 2914 de 12 Dezembro de 2011*

Tabela 7.3 Parâmetros microbiológicos da qualidade da água para consumo humano relativamente ao rio Juruena, Lago Piratuba e Rio Nhamundá.

| | PÂRAMETROS MICROBIOLÓGICOS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Rio Juruena | Lago Piratuba | Rio Nhamundá | VMP |
| Coliformes totais (nºcélulas/100 ml) | $6,71 \times 10^5$ | $1,09 \times 10^7$ | $1,6 \times 10^5$ | Ausência em 100ml |

*FONTE: Moss (2013) e portaria nº 2914 de 12 Dezembro de 2011*

## 7.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A IMPLEMENTAR DE ACORDO COM A QUALIDADE DA ÁGUA NOS LOCAIS DE ESTUDO

Como se pode observar nas tabelas 7.5, 7.6 e 7.7, a qualidade da água na origem não satisfaz a qualidade mínima necessária para consumo humano, sendo necessário associar um sistema de tratamento, por forma a garantir a qualidade mínima exigida pela Portaria nº2914 de 12 de Dezembro de 2011.

Considerando a qualidade da água bruta do rio Juruena, o sistema de tratamento deve incluir etapas que permitam a qualidade microbiológica da água, ou seja, será necessário apenas a operação de desinfeção. Já no caso do lago Piratuba, o sistema de tratamento a ser implementado deve garantir uma sequência de operações e processos unitários que permitam a remoção do teor de fósforo total (devido ao estado hipereutrofizado do meio), a remoção de turvação e a destruição/inativação microbiológica. Assim sendo, é necessário um sistema de tratamento convencional de coagulação/floculação, decantação, filtração e posterior desinfeção. Finalmente, no que diz respeito ao caso do rio Nhamundá,

a água bruta apresenta valores superiores aos VMP relativamente à contaminação microbiológica e ao teor de arsénio, sendo essencial um sistema de tratamento que contemple operações e processos unitários que permitam a remoção destes parâmetros. Neste caso, existem várias alternativas aos sistemas de tratamento de água convencionais a considerar que permitem a remoção de arsénio e de organismos patogénicos.

No presente trabalho, considerou-se que o arsénio se encontra sob a forma de arseniato [As(V)], visto ser espécie de arsénio inorgânico maioritariamente presente nas águas superficiais (Sousa, 2013).

Tendo em consideração a qualidade de água bruta e os processos e operações unitárias apresentados de forma sucinta no capítulo 6, apresentam-se na tabela 7.8 as principais soluções de tratamento para os parâmetros de qualidade da água que apresentam valores superiores aos VMP definidos pela legislação nos três estudos de caso.

Tabela 7.4 Principais tecnologias de tratamento de água para a remoção do teor de arsénio, matéria orgânica, microrganismos patogénicos e turvação.

| PARÂMETROS | PROCESSOS E OPERAÇÕES UNITÁRIAS |
|---|---|
| *Arsénio* | Oxidação/filtração; coagulação/filtração; Coagulação assistida por microfiltração; Permuta iónica; Adsorção; Nanofiltração ou Osmose Inversa; |
| *Fósforo total* | Coagulação/floculação, decantação e filtração; Flotação |
| *Microrganismos patogénicos* | Desinfeção |
| *Turvação* | Coagulação/floculação, decantação e filtração |

*FONTE: Adaptado de Letterman (1999); Richter et al. (1999) e Sousa (2013)*

Relevando que o objetivo principal do trabalho é contribuir para o estudo do fornecimento de qualidades mínimas de água potável para usos diretos em zonas economicamente desfavorecidas, é importante que os sistemas de tratamento de água apresentados devem ser simples, de fácil execução e tenham em consideração a respetiva situação económica e social das populações a abastecer. Como tal, os sistemas de tratamento devem ser simples e economicamente viáveis, incluindo apenas os processos e operações unitárias necessários para permitir uma qualidade mínima aceitável para a saúde pública da população. Tecnologias inovadoras que são usualmente utilizadas em países desenvolvidos e que substituem os sistemas de tratamento convencionais não são aqui analisados, por serem economicamente inviáveis, quer em termos energéticos quer em termos de investimento inicial, à exceção dos sistemas de tratamento que tenham sido encontrados como objeto de estudo noutros projetos, demonstrando a eficiência destes através da utilização de energias renováveis e que apresentem custos viáveis para zonas economicamente desfavorecidas. Assim, considera-se que, no caso de serem apresentadas soluções de tratamento que necessitam de fonte energética para funcionarem, estas conseguem operar através da utilização de energias renováveis.

Como tal, são apresentadas as sequências de tratamento possíveis para cada estudo de caso.
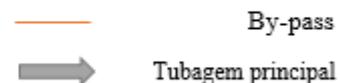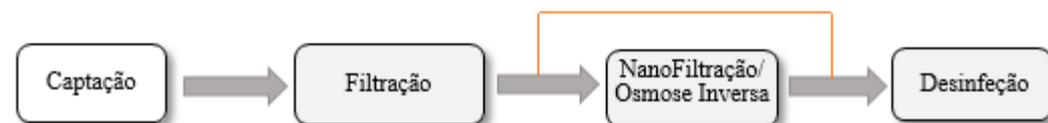
Figura 7.4 Sistemas de tratamento de água passíveis para cada estudo de caso.

A solução de tratamento proposta para o caso do rio Juruena é normalmente associada a uma água de origem subterrânea, com uma qualidade considerada boa, necessitando apenas da etapa de desinfeção. Apesar da água do rio Juruena se tratar de uma água superficial, apenas carece de um tratamento que garanta a qualidade microbiológica. Deveria ser associado o processo de filtração, uma vez que a sequência de tratamento mínima exigida para o tratamento de águas superficiais inclui a etapa de filtração e desinfeção. Contudo, sendo o objetivo do trabalho encontrar soluções de baixo custo para

zonas de carência económica, a etapa de desinfeção é suficiente para garantir uma qualidade de água aceitável para uso direto.

No caso do lago de Piratuba, trata-se de um sistema de tratamento convencional, com as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfeção. Foi também proposta na tabela 7.8 a operação de flotação como solução de tratamento para a remoção do teor de fósforo total. A flotação consiste na separação sólido-liquido, em que, através da libertação de bolhas de ar e consequente agregação com as partículas em suspensão, permite minimizar a densidade destas para valores inferiores à água, ascendendo à superfície para posterior remoção (Lundgren, 1976, citado por Letterman, 1999). Esta etapa foi excluída pois, tendo em consideração que seria necessária uma fonte energética para a injeção de ar no sistema, a solução passaria pela utilização de energias renováveis e que, para o caso da flotação, não foram encontrados sistemas que aplicassem este tipo de energia.

Segundo Gadgil (1998), valores de turvação superiores a 50 NTU podem colmatar rapidamente o filtro, diminuindo a eficiência deste e comprometendo a etapa de desinfeção. Visto que os valores de turvação no caso do lago de Piratuba são superiores a 50 NTU é recomendado um pré-tratamento com coagulação e/ou floculação e decantação antes do processo de filtração.

O rio Nhamundá é caracterizado pelo elevado teor de arsénio e de microrganismos patogénicos, sendo apresentadas várias alternativas passíveis para a remoção destes parâmetros. Tal como foi referido no capítulo 5, os principais sistemas de tratamento de água usualmente utilizados para remoção de arsénio passam pelas etapas de oxidação/filtração, coagulação/filtração gravítica, coagulação assistida por microfiltração, permuta iónica, adsorção (nomeadamente por óxidos de ferro) e utilização de membranas.

A permuta iónica consiste na troca entre iões presentes na água (contaminantes) e iões com carga semelhante ligados a uma fase sólida (resina) (EPA, 2007).

Das tecnologias apresentadas, a tecnologias de permuta iónica foi excluída, visto ser economicamente inviável para zonas de carência económica. As restantes soluções de tratamento foram objeto de estudo em zonas com características económicas similares à do estudo de caso deste trabalho, realizadas por entidades independentes ou organizações não governamentais (ONG). Exemplos deste tipo de soluções serão analisados no capítulo seguinte.

No caso da primeira alternativa, a operação de oxidação consiste num processo de precipitação que permite remover o ferro através da oxidação das suas formas solúveis, tornando-as insolúveis e posteriormente removidas no processo de filtração. O arsénio sob a forma oxidada é adsorvido nos precipitados de hidróxido de ferro formados. A eficiência do processo de co-precipitação do arsénio depende essencialmente da concentração inicial de ferro e da proporção de, pelo menos, 20:1 entre estes (Sousa, 2013). Não existem dados relativos ao teor de ferro dissolvido na água. Assim, não será considerada esta opção no estudo deste trabalho, apesar de ser referida como solução de tratamento.

Optou-se por deixar esta solução, no caso de ser feita uma nova recolha de dados da qualidade da água do rio Nhamundá com a análise do teor de ferro dissolvido.

Na alternativa b) é proposta uma operação de coagulação com a utilização de um agente coagulante que remova eficientemente o arsénio seguida da etapa de filtração, utilizando um *by-pass*. Esta solução consiste na adsorção do arsénio num precipitado de hidróxido de alumínio ou ferro (em função do coagulante utilizado) que se vão aglomerando e posteriormente removidos na operação de filtração. A filtração pode ser feita através da filtração gravítica ou recorrendo a membranas semipermeáveis. Segundo a tabela 7.8, uma das soluções para a remoção do teor de arsénio é a coagulação assistida por microfiltração. No entanto, tal como referido no capitulo anterior, a ultrafiltração permite remover igualmente os contaminantes presentes na água que a microfiltração remove. Assim, foi considerada como uma das soluções de tratamento de água a coagulação assistida por ultrafiltração, uma vez ter sido apresentada por ONGs, como uma solução economicamente viável para zonas economicamente desfavorecidas.

Visto tratar-se de uma água com valores de turvação baixos, pode ser feito um tratamento de filtração em linha, com a opção da utilização de um *by-pass* após a etapa de coagulação diretamente para o filtro. Apesar dos valores de turvação serem baixos, futuramente estes valores podem aumentar e, como tal, a possibilidade de ser feito um tratamento de filtração em linha ou convencional (adicionando a etapa de floculação e/ou decantação) pode ser feita através da utilização de um *by-pass* após a etapa de floculação (seguida da operação de filtração), permitindo assim adequar o sistema de tratamento para eventuais alterações futuras na qualidade da água a tratar.

Relativamente à alternativa c) a linha de tratamento inclui a etapa de adsorção seguido de filtração para reter os precipitados formados. A adsorção utiliza essencialmente compostos de ferro adicionados que ao serem oxidados formam hidróxidos de ferro que vão ser utilizados para a adsorção do arsénio a estes. A diferença desta etapa relativamente à etapa de oxidação da alternativa a) passa pela adição de uma fonte de ferro à solução, ao contrário da primeira alternativa que utiliza o ferro dissolvido na água. (Sousa, 2013)

Finalmente, a última alternativa utiliza um sistema de membrana por nanofiltração/osmose inversa para remover o arsénio e os agentes patogénicos. Teoricamente, o sistema de alta pressão, como é o caso de membranas como a nanofiltração e a osmose inversa, apresentam elevados custos devido ao custo energético necessário para fornecer pressão necessária as membranas reterem os contaminantes presentes na água. Contudo, tal como foi referido anteriormente, foram desenvolvidos em projetos anteriores sistemas de membranas deste tipo que funcionam eficazmente através da utilização de energias renováveis, como é o caso da energia solar.

A utilização de um tratamento por membranas de nanofiltração permite uma eficiência elevada na remoção de compostos orgânicos de baixo peso molecular e de iões bivalentes dissolvidos, no

entanto a água permeada perde grande parte das propriedades mineralógicas que são benéficas para a saúde humana, como é o caso do cálcio e do magnésio. No intuito de solucionar este problema pode ser feito um desvio de parte do caudal antes da passagem pela membrana, para que parte deste conserve as propriedades mineralógicas e seja adicionado ao caudal permeado. Tendo em conta que o VMP para a concentração de arsénio é de 0,01 mg/L, considera-se que 25% do caudal é desviado e não passará pela membrana de nanofiltração. O processo de separação de membranas por nanofiltração necessita de pré-tratamento de filtração para remover a matéria suspensa em excesso que provoca a colmatação das membranas. A etapa de desinfeção é importante em todas as soluções de tratamento para garantir a inativação total dos organismos patogénicos. (Sousa, 2013)

Após terem sido apresentadas e devidamente justificadas as várias alternativas de tratamento de água para cada um dos três estudos de caso, serão analisadas as várias tecnologias de tratamento existentes para cada processo e operação unitária, para que seja posteriormente escolhida a melhor opção para cada caso.

# 8. SELEÇÃO DOS SISTEMAS SIMPLIFICADOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZADOS PARA FORNECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

Nas tecnologias STAAR, a avaliação do desempenho não se baseia apenas na eficiência de remoção dos contaminantes presentes na água bruta e no custo dos sistemas. Os critérios de desempenho incluem, também, a facilidade de uso da tecnologia, a sustentabilidade ambiental, a aceitação sociocultural desta e o potencial de divulgação. Vários estudos e experiências têm demonstrado que, a introdução de qualquer tecnologia STAAR sem ter em consideração estes critérios, torna muito pouco provável o seu sucesso e sustentabilidade (Sobsey *et al*., 2008, citado por Peter-Varbanets *et al.*, 2009).

Apesar de uma variedade deste tipo de tecnologias terem sido sugeridas, testadas e distribuídas, nem todas possuem uma base de eficiência e uso sustentável (Sobsey *et al.*, 2008). Assim sendo, foram selecionadas as tecnologias que, segundo Sobsey (2002), se destacam por serem as mais promissoras, acessíveis e que têm dado provas de melhorias na qualidade da água. Estas tecnologias são:

- Filtração em cerâmica;
- Cloragem;
- Desinfeção solar utilizando a radiação UV e calor;
- Desinfeção termal utilizando a luz solar (pasteurização);
- Combinação de sistemas utilizando coagulação/floculação química, decantação, filtração e cloragem.

Apesar de este autor não referir, Lantagne *et al.* (2006) enumera as mesmas tecnologias e inclui o biofiltro lento de areia.

Neste capítulo são caracterizadas as principais tecnologias referidas anteriormente. O estudo destas passa pela descrição geral da tecnologia, modo de uso, vantagens e desvantagens, custos, capacidade diária, eficiência, pré-tratamento, disponibilidade local, manutenção, facilidade de uso, aceitação social e tempo de vida útil. Todos estes pontos analisados foram descritos não só para avaliar a eficiência e capacidade de produzir água tratada a nível unifamiliar, mas também para avaliar o nível de sustentabilidade da tecnologia.

São também apresentados dois sistemas de tratamento de água que têm como objetivo servir uma comunidade. Estas tecnologias são incorporadas nos sistemas denominados de "Quiosques" pois, tal como nome indica, funcionam como quiosques de fornecimento de água potável. Tal como os sistemas

STAAR, os Quiosques seguiram a mesma sequência de caracterização por forma a avaliar a eficiência e capacidade de produção de água tratada para a comunidade e o nível de sustentabilidade.

Os sistemas STAAR e os Quiosques não contemplam a existência de uma rede de distribuição e, caso seja necessário uma fonte energética para o seu funcionamento, são utilizadas energias renováveis, nomeadamente a energia solar. O armazenamento seguro da água tratada por estes sistemas é da responsabilidade do consumidor, aconselhado posteriormente por entidades envolvidas nos projetos de implementação deste tipo de sistemas.

## 8.1. SISTEMAS UNIFAMILIARES

Os sistemas STAAR, analisados neste capítulo, são sistemas simplificados de tratamento de água que funcionam como tecnologias alternativas aos sistemas de abastecimento convencionais que incluem no seu tratamento as etapas de desinfeção, filtração e de coagulação/desinfeção.

Relativamente à etapa de desinfeção, são descritos agentes desinfetantes de cloro (Waterguard® e Aquatabs®), desinfeção UV (SODIS) e pasteurização (PTC).

No caso da etapa de filtração, são descritos filtros em cerâmica (FILTRON® e Stefani São João®), biofiltros lentos de areia (Hydraid® e Kanchan®) e ultrafiltração (Lifestaw Family®).

Finalmente, são selecionados como reagentes o agente coagulante/floculante e desinfetante o produto PUR® e as sementes da planta *Moringa Oleifera* que, neste estudo é utilizada como agente coagulante.

### 8.1.1. Desinfeção

#### *8.1.1.1. Cloragem*

A cloragem é o tratamento de água mais praticado a nível comunitário. Segundo Sobsey (2002), esta tecnologia tem sido usada continuamente na Europa e na América do Norte há mais de 100 anos. Em pequenas doses e com um tempo de contacto de cerca de 30 minutos, o cloro pode inativar/destruir mais de 99,999% de patogénicos, exceto espécies como *Cryptosporidium* e *Mycobacterium* (WHO, 2012).

Contudo, tratar água com cloro depende de fatores como pH, temperatura, presença de matéria orgânica dissolvida e partículas em suspensão. A presença de matéria orgânica (MO), valores elevados de turvação, pH com valores superiores a 9 e temperatura baixas podem interferir com a eficiência do processo. O cloro reage com a MO, potenciando a formação de trihalometanos, compostos cancerígenos (CAWST- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, 2009 e Laurent, 2005).

A nível residencial (unifamiliar) o cloro é usado geralmente sob a forma de pastilhas (caso da marca Aquatabs®) ou como solução diluída (caso da marca WaterGuard®), com uma concentração fixa, adicionada a determinado volume de água (Laurent, 2005).

Na tabela 8.1 apresentam-se algumas das vantagens e desvantagens do processo de desinfeção com o uso de cloro quer sob a forma liquida quer sob a forma de pastilhas.

Tabela 8.1 Vantagens e desvantagens de desinfeção por cloragem.

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Redução comprovada de bactérias e a maior parte dos vírus; | Relativamente baixa proteção contra alguns vírus e parasitas; |
| Proteção residual contra recontaminação; | Eficiência mais baixa em água contaminada com matéria orgânica e alguns compostos inorgânicos; |
| Fácil de usar; | Sabor e odor desagradável; |
| Têm impacto positivo na saúde, comprovado em vários ensaios e estudos de controlo em campo. | Preocupações acerca de potenciais efeitos cancerígenos. |

*FONTE: Laurent (2005)*

#### 8.1.1.1.1. WaterGuard®

Este produto, de uso residencial, foi introduzido pela organização não governamental (ONG) denominada "*Populational Service International*" (PSI), com o apoio técnico do Centro de Controle e Prevenção de Doenças americana (CDC- *Centers for Disease Control and Prevention*). Esta organização é a maior promotora e distribuidora de produtos de cloragem a nível mundial (HYSTRA- - *Hybrid Strategies Consulting*, 2011 e Baffrey, 2005).

O modo de uso e conservação são especificados nas instruções do produto mas, geralmente, seguem os seguintes passos comuns: medir a quantidade de líquido aconselhada para tratar determinado volume de água, adicioná-lo à água, misturar e esperar o tempo necessário para respeitar o tempo de contacto de, pelo menos, 30 minutos (Sobsey *et al.*, 2008).

Figure 8.1 Produto Waterguard® (Fonte: CDC, 2005).

#### 8.1.1.1.2. Aquatabs®

Este produto, cuja composição é dicloroisocianurato (NADCC), apresenta-se sob a forma de pastilhas e é produzido pela empresa Medentech Ltd. Esta marca é aprovada por várias entidades, nomeadamente pela OMS, e distribuída mais uma vez pela organização PSI (Clasen *et al.*, 2007 e HYSTRA, 2011).

O produto encontra-se disponível em seis dosagens: 3,5 mg; 8,5 mg; 17 mg; 33mg; 67 mg e 167 mg.

Tal como a marca WaterGuard®, a marca Aquatabs®, tem disponível as instruções de uso e conservação para a dose correta e segue a mesma sequência de tratamento que a solução diluída de cloro (CAWST, 2009)

Figura 8.1 Produto Aquatabs® (Fonte: Adaptado de Jain, 2010).

#### *8.1.1.2.Desinfeção solar (SODIS)*

A ideia da desinfeção da água através da luz solar foi apresentada pela primeira vez pelo professor Aftim Acra num folheto publicado pela UNICEF, em 1984. O Sistema SODIS utiliza a radiação UV e o calor do sol para destruir/inativar os agentes patogénicos. Este método utiliza garrafas de plástico transparentes (PET) ou garrafas pintadas de preto num dos lados, ou assentes numa superfície escura para que o nível de absorção da radiação solar seja maior. As garrafas de plástico apresentam vantagens relativamente às garrafas de vidro, pois são mais baratas e não se partem. Neste tipo de garrafas a água a tratar pode chegar a temperaturas de 50 até 60ºC quando expostas ao sol durante várias horas. A ação do calor na destruição/inativação eficaz de agentes patogénico sucede-se geralmente a temperaturas de, pelo menos, 55ºC e a uma intensidade de pelo menos 500 W/m$^2$ (o equivalente a cerca de 6 horas expostas ao sol, no verão, em regiões de latitudes médias) (Laurent, 2005).

A sequência de tratamento da água passa inicialmente pela etapa de decantação ou filtração (caso a turvação ultrapasse os 30 NTU) e, após a remoção da matéria suspensa, a água é colocada em

garrafas de plástico até cerca de três quartos do volume total da garrafa. Seguidamente, a água é agitada para promover o processo de oxidação. Esta água fica em repouso e exposta à radiação solar durante um período de pelo menos cinco horas, dependendo das condições climatéricas (Laurent, 2005).

Segundo CAWST (2009), a eficiência do tratamento depende da intensidade e duração da radiação solar. Caso existam mais do que cerca de 50% de nuvens, o tempo de espera é de 2 dias e, caso esteja a chover não é aconselhado usar este sistema de desinfeção. As regiões geográficas mais favoráveis para a utilização do método SODIS estão localizadas entre as latitudes 15ºN e 35ºN, bem como 15ºS e 35ºS. Sendo de realçar que a maioria dos países em desenvolvimento estão localizados entre estas latitudes.

Algumas das vantagens e desvantagens deste sistema de tratamento de água estão descritas na tabela 8.2.

Tabela 8.2 Vantagens e desvantagens de desinfeção solar (SODIS).

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Eficiência elevada na eliminação da maior parte dos agentes patogénicos, comprovada em diversos estudos; | Elevada turvação interfere com o processo de desinfeção; |
| Não necessita de mão-de-obra-qualificada; | Dependência das condições climatéricas do local; |
| Não existe adição de agentes químicos na água. | Este sistema de desinfeção não deixa residual na água, havendo risco de recontaminação da água tratada. |

*FONTE: Laurent (2005)*

Figura 8.2 Desinfeção Solar da água (SODIS) (Fonte: CAWST, 2009).

#### *8.1.1.3.Pasteurização (PTC)*

Apesar do método de fervura ser o tratamento de água mais utilizado a nível termal, pode ser alcançado o mesmo objetivo de desinfeção, através do aquecimento da água a temperaturas de 60ºC a 70ºC, recorrendo a energia solar ou a combustível. Podem ser destruídos a maior parte dos agentes patogénicos (60ºC para *E.coli*) com o método de pasteurização em apenas 10 minutos. Contudo, é necessário um sistema de monitorização para verificar as condições de temperatura (Baffrey, 2005 e Laurent, 2005).

Sendo o objetivo do trabalho chegar a soluções de tratamento de água em zonas economicamente desfavorecidas, foram procuradas soluções que, caso estas necessitem de fontes energéticas, sejam utilizadas energias renováveis. Assim sendo, para este método de desinfeção, foi desenvolvido um sistema de pasteurização denominado "*Parabolic Trough Concentrator*" (PTC), que utiliza a energia solar como fonte energética de calor para aquecer a água a temperaturas de 60ºC, permitindo a destruição/inativação de agentes patogénicos.

O sistema PTC é constituído por um refletor de alumínio, uma tubagem de aço de cor preta, um tubagem de polietileno de alta densidade (PEAD), material de suporte, um reservatório de armazenamento da água bruta, um reservatório de recolha e armazenamento da água tratada e uma válvula termostática que regula o caudal de água tratada, dependo da temperatura a que se encontra o sistema (Bigoni *et al.*, 2013).

A água bruta é armazenada num reservatório com capacidade para 80 litros com escoamento gravítico até à tubagem onde é feito o aquecimento, na qual transição a transição é feita por uma tubo de PEAD. A água a desinfetar entra na tubagem de aço de cor preta (com poder de absorção máximo) e é aquecida até uma temperatura de 82/83ºC. Quando esta temperatura é atingida, a válvula termostática abre e o volume de água tratada é recolhida e armazenada num tanque de PEAD, com capacidade para 70 litros. Por sua vez, a radiação solar que incide na tubagem de aço é refletida por uma placa de alumínio que segue a forma de uma parábola e com o grau de rotação que permite à estrutura refletora seguir com precisão os desvios do sol entre os solstícios de Verão e Inverno. (Bigoni *et al.*, 2013).

A válvula, um produto automático sem o uso de baterias ou eletricidade, é guiada pela expansão e contração de uma estrutura em cera moldável, no interior da válvula. Durante o processo de aquecimento, a válvula está fechada e não existe caudal de passagem até à cera chegar ao seu ponto de ebulição de 87ºC. Quando atinge esta temperatura, a cera fica líquida em 2 a 3 segundos e, ao expandir, empurra um pistão de aço inoxidável, criando uma força que abre a válvula que estava comprimida por uma mola. A válvula volta-se a fechar quando o tubo de aço voltar a arrefecer com a chegada de um novo caudal de água a tratar que se encontra à temperatura ambiente. Este passo acontece quando a

temperatura da água de passagem desce para os 82/83ºC, solidificando a cera e comprimindo novamente a válvula. (Bigoni *et al.*, 2013)
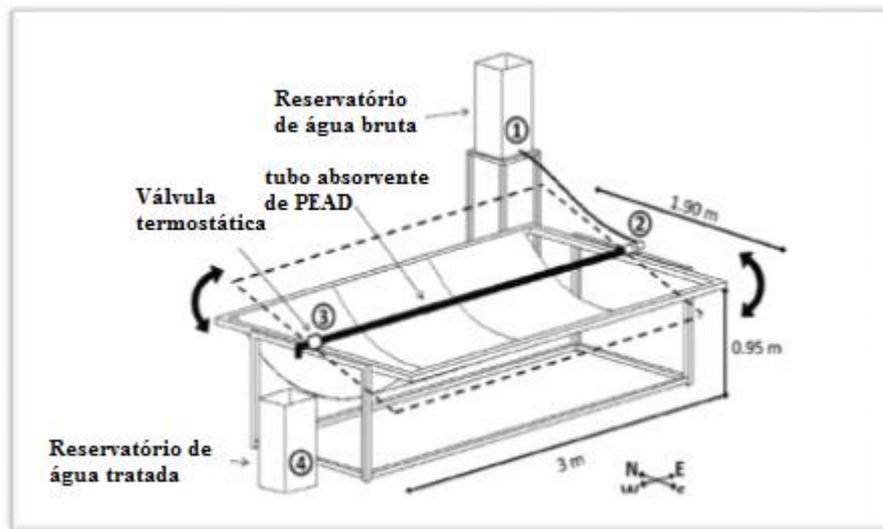
Figura 8.3 Esquema representativo do sistema PTC (Fonte: Bigoni *et al.*, 2013).

Algumas das vantagens e desvantagens do sistema de pasteurização, mais especificamente para o sistema PTC, são descritas na tabela 8.3.

Tabela 8.3 Principais vantagens e desvantagens na desinfeção por pasteurização

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Eficiência elevada na eliminação da maior parte dos agentes patogénicos. | Risco de contaminação. Segundo Bigoni *et al.* (2014), após 72 horas foi observada recontaminação na água tratada a uma temperatura de 30ºC. |
| Sistema que funciona automaticamente. | Dependência das condições climatéricas do local. |
| Não necessita de mão-de-obra-qualificada. | Sistema PTC ainda muito recente, não existem registos a longo prazo. |

*FONTE: Lauren (2005) e Bigoni et al. (2013)*

As características principais de cada método de desinfeção, nomeadamente a capacidade de tratamento, a eficiência, necessidade de pré-tratamento/pós-tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil estão representados na tabela 8.4.

Tabela 8.4 Descrição da capacidade, eficiência, pré e pós tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil de STARAS de desinfeção.

| Desinfeção | Capacidade (l/dia) | Eficiência (% remoção) | Pré-tratamento/ Pós tratamento | Disponibilidade local | Manutenção | Aceitação social | Facilidade de uso | Tempo de vida útil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Waterguard® | 20[1] | Bactérias:[1] 99,9<br>Virus:[1] 99,9 | Se turvação> 5 NTU[2]<br>Ausência de MO[3] | Cloro pode ser produzido e distribuído local e regionalmente em garrafas compradas por utilizadores que tratam quantidades elevadas de água[1] | Não requer | Baixa devido ao sabor e odor desgradável.[1] | Fácil. Apenas é necessário medir a quantidade, misturar e esperar o tempo de contacto de 30 minutos.[1] | 3 meses[2] |
| Aquatabs® | 20[1] | Bactérias:[1] 99,9<br>Virus:[1] 99,9 | Se turvação> 5 NTU;<br>Ausência de MO[3] | Não são produzidas localmente[2] | Não requer | Baixa devido ao sabor e odor desagradável[1] | Fácil. Apenas é necessário medir a quantidade, misturar e esperar o tempo de contacto de 30 minutos.[1] | 5 anos.[2] |
| SODIS | Depende do número de garrafas | Bactéria:[1] 99,9<br>Virus:[1] 99 | Filtrar previamente caso turvação> 30 NTU[4] | As garrafas podem ser compradas localmente | Não requer | Baixa, devido principalmente ao tempo e esforço necessários para tratar a água.[1] | Processo laborioso.[1] | Substituir periodicamente a garrafa |
| PTC | Em condições meteorológicas ótimas, obtém-se o valor máximo de 66[5] | *E.coli*:[5] 100 | Assume-se que tal como o sistema SODIS, filtrar previamente caso turvação seja elevada. | Parte dos materiais não estão disponíveis localmente. | Limpeza periódica dos equipamentos. | Sabe-se que em sistemas de tratamento de água deste tipo a aceitação é baixa, uma vez que a água tratada encontra-se a temperaturas elevadas, sendo desagradável o seu consumo.[6] | Fácil. Basta encher o reservatório de água bruta e recolher a água tratada. | Não existem dados |

[1] Sobsey *et al (*2008)
[2] CAWST (2009)
[3] Laurent (2005)
[4] Peter-Varbanets (2009)
[5] Bigoni *et al.* (2013)
[6] Jain (2009)

### 8.1.2. Filtração

#### *8.1.2.1.Filtro em cerâmica*

Os filtros em cerâmica têm sido um dos sistemas de tratamento de água unifamiliares com mais sucesso. Fábricas locais constroem este produto desde 1989 na América Central e outras partes do mundo (Barstow, 2010).

Os filtros em cerâmica tradicionais são feitos de barro e de materiais combustíveis como serradura, bagos de arroz ou de café. O barro e o material combustível são peneirados através de uma malha fina e depois misturados com água até formar uma mistura homogénea. A mistura é posteriormente pressionada até ter a estrutura pretendida através de um molde. Quando a estrutura vai ao forno o material combustível é queimado e são criados micro poros no interior da estrutura. Na estrutura do vaso existe a opção de ser adicionada prata, pintando ou mergulhando o vaso nesta. A adição de prata permite a inativação de vírus, desde que seja reposta anualmente, pois vai desaparecendo. Grande parte dos materiais necessários para construir este filtro estão disponíveis localmente em qualquer parte do mundo com a exceção da prata (Barstow, 2010 e CAWST, 2009).

A limpeza é periódica e feita manualmente, esfregando e lavando o filtro por forma a eliminar as impurezas acumuladas, quando se verifica a diminuição da taxa de filtração (Sobsey *et al.*, 2008 e Murphy *et al.*, 2010)

Algumas das vantagens e desvantagens dos filtros de cerâmica são apresentados na tabela 8.5.

Tabela 8.5 Principais vantagens e desvantagens na filtração de cerâmica.

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Eficiência elevada destruição/inativação de bactérias e remoção de turvação. | Não deixa residual, podendo haver risco de recontaminação |
| Fácil de usar | Taxa de filtração baixa. |
| Não existe adição química na água | As peças são frágeis |

*FONTE: Laurent (2005)*

##### 8.1.2.1.1. Filtron®

Atualmente, o filtro de cerâmica mais distribuído a nível mundial é a marca Filtron®, da autoria da ONG americana "*Potters for Peace*" (PFP). Este sistema consiste num filtro de cerâmica com adição de prata. O processo de fabrico segue a mesma sequência que um filtro de cerâmica convencional. Tem 31 centímetros de diâmetro, 24 centímetros de altura e uma capacidade para 7 litros de água. A porosidade varia entre 0,3 a 6 micrometros. Este vaso é inserido num recipiente de plástico com

capacidade para 20 litros de água. A parte superior é fechada com uma tampa de plástico para proteger o sistema de contaminação exterior. Após a filtração abre-se a torneira para recolher a água filtrada (CAWST, 2009; Potters For Peace, 2014 e Murphy *et al*., 2010).
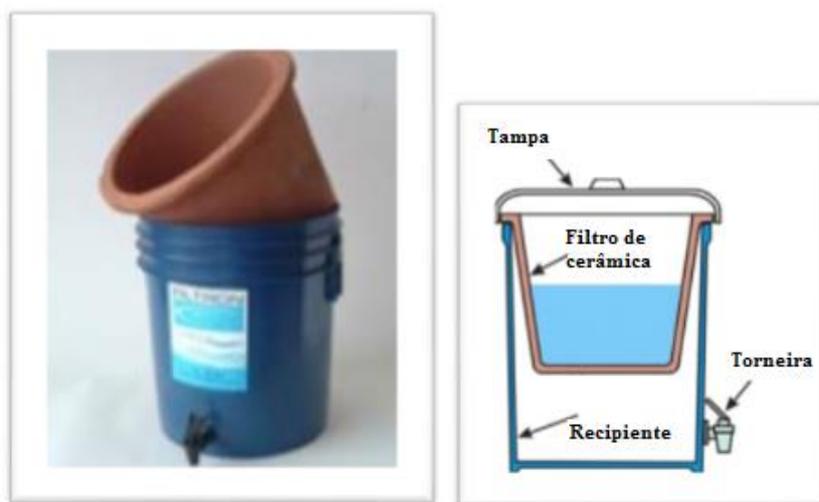
Figura 8.4 Filtron® (à esquerda) e esquema representativo do Filtro (à direita) (Fonte: Adaptado de CAWST, 2009 e Lantagne, 2001a)

#### 8.1.2.1.2. Stefani São João®

O que diferencia os filtros em cerâmica sob a forma de vela e os filtros em cerâmica convencionais é a forma que a estrutura de cerâmica adquire. O material e a sequência de construção são as mesmas mas, no processo do aquecimento a temperaturas elevadas (cerca de 900 graus celsius), a forma adquirida é a de uma vela. Os primeiros países a produzirem os filtros de cerâmica em forma de vela foram o Reino Unido, a India, China e Brasil. Um dos modelos existentes, "Stefani São João", é produzido no Brasil, da autoria de Stefani. Este filtro contém carvão ativado com 10 centímetros de altura e 6 centímetros de diâmetro, com porosidade de 1 micrometro. O carvão ativado serve para remover compostos que provocam sabor desagradável e odor desagradável (Franz, 2005).

Tipicamente, este sistema de filtração é constituídos pelo filtro e dois recipientes, um colocado acima do outro, com a vela colocada no recipiente superior. A água bruta é colocada no topo da estrutura, passa pelo meio filtrante até ser recolhida no recipiente inferior. Os recipientes podem ser feitos de plástico, de cerâmica, de aço e por vezes são colocadas torneiras para evitar recontaminação e assim, recolher mais facilmente a água tratada (Baffrey, 2005).

A taxa de filtração é cerca de 0,1 litros por hora por vela mas esta pode ser aumentada no caso de ser implementado mais do que um filtro. Este filtro tem um diâmetro nominal dos poros de 1 micrometro. (Franz, 2005 e Boisson *et al*., 2006).

Figura 8.5 Filtros de cerâmica em forma de vela (Fonte: CAWST, 2009).

### *8.1.2.2. Biofiltro lento de areia (BFA)*

Os biofiltros lentos de areia têm sido implementados por todo o mundo. Várias entidades independentes e ONGs, como é o caso de CAWST, instalaram mais de 57 500 filtros em mais de 28 países. (Baffrey, 2005)

O meio filtrante destes filtros consistem em camadas de areia e cascalho. A parte biológica destes filtros é desenvolvida através da absorção destes pela camada de areia desenvolvendo um biofilme, denominado camada biológica ou *Schmutzdecke*. Esta camada biológica degrada os sólidos suspensos presentes na água a ser filtrada. A camada de *schmutzdecke* demora cerca de 30 dias a ser formada para que a remoção patogénica seja eficaz e, enquanto não chega este período de tempo a água pode ser filtrada mas deve ser feita uma desinfeção após ser filtrada a água, pois a dimensão dos poros não permite uma eficiência aceitável. Para esta camada funcionar, o biofilme necessita de oxigénio para se desenvolver e sobreviver. Quando a água percorre o filtro, o oxigénio dissolvido na água é fornecido à biocamada e quando este não está a funcionar o oxigénio é transferido pela difusão do ar. Para que a transferência seja eficiente é necessário que o nível da água esteja a cerca de 5 cm acima do meio filtrante durante o período de pausa. Um nível maior de água resulta numa menor eficiência de transferência de oxigénio e um nível menor a água pode evaporar rapidamente (caso o meio ambiente seja um clima quente) destruindo o biofilme. É necessário um tempo de pausa entre os período de filtração para dar tempo para biofilme consumir os agentes patogénicos presentes na água. Como tal, é recomendado um período de pausa de filtração entre 6 a 12 horas. (CAWST, 2009)

A água passa pelo meio filtrante, ficando retida a matéria suspensa e os microrganismos patogénicos sendo, posteriormente, recolhida a água filtrada. Este tipo de filtro é de fácil uso e manutenção, no entanto é necessária a limpeza periódica da camada superficial do meio filtrante, por forma a evitar a colmatação dos poros.

Estes podem ser construídos com materiais locais e possuem uma taxa de filtração superior aos filtros de cerâmica. Contudo, precisam de pré-tratamento no caso de a água bruta apresentar valores elevados de turvação e requerem uma pós desinfeção pois não removem na totalidade as bactérias e não são eficientes na remoção de vírus. A porosidade efetiva varia entre 0,15 a 0,35mm. (Jain, 2003 e Murphy *et al*., 2010).

Algumas das vantagens e desvantagens estão representadas na tabela 8.6.

Tabela 8.6 Principais vantagens e desvantagens de filtração de areia.

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Eficiência elevada destruição/inativação de bactérias e remoção de turvação. | Não é tão eficiente na destruição/inativação de vírus. |
| Fácil de usar | Não deixa residual, podendo haver risco de recontaminação. |
| Taxa de filtração superior À dos filtros de cerâmica. | Necessita de pré-tratamento caso a água bruta tenha turvação elevada. |

*FONTE: Laurent (2005)*

#### 8.1.2.2.1.1. HydrAid®

O modelo HydrAid® é um biofiltro lento de areia pertencente à empresa "*TripleQuest*". Este filtro tem quatro camadas: cascalho, areia grossa, areia fina e uma camada superfina de areia no topo. A última camada permite aumentar a eficiência de retenção dos sólidos suspensos e dos microrganismos (Kikkawa, 2007).

O filtro Hydraid® tem uma taxa de filtração de 47 litros por hora. A camada de cascalho tem uma porosidade entre 6 a 15 mm, a areia grossa entre 1 a 6 mm, a camada de areia fina até 1mm. O total da camada filtrante de areia (areia fina e areia superfina) tem cerca de 46 cm de altura (Kikkawa, 2007).

O biofilme demora cerca de 30 dias para que esta estabilize e seja eficiente na remoção de matéria suspensa e, para que a eficiência se mantenha constante o filtro deve ser usado diariamente (CAWST, 2009).

Figura 8.6 Modelo HydrAid® (à esquerda) e representação esquemática (à direita) (Fonte: CAWST, 2009 e Kikkawa, 2007)

#### 8.1.2.2.1.2. Kanchan®

Em 2002, Tommy Ngai projetou este tipo de biofiltros lentos de areia (BFA) que, além da remoção de matéria em suspensão, permitem simultaneamente a remoção do teor de arsénio. O engenheiro Ngai fez parte do projeto de implementação destes filtros no Nepal, da responsabilidade do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT- *Massachusetts Institute Technology*) e, a partir daí, os BFA com a remoção de arsénio têm tido bastante sucesso (Tabbal, 2002).

A camada filtrante do filtro Kanchan® (KAF- *Kanchan Arsenic Filter*) é a mesma de um biofiltro lento de areia convencional, com a exceção de ser adicionado ferro para remover arsénio. O arsénio é removido através da adsorção ao ferro que está sob a forma de hidróxido de ferro. Os agentes patogénicos são inicialmente removidos pela camada de areia e a matéria em suspensão é removida pela camada de *schmutzdecke*, localizada acima da camada filtrante de areia. (Espinoza *et al.*, 2010 e CAWST, 2009).

A construção do KAF é simples e os materiais podem ser encontrados localmente. Inicialmente o molde é construído com uma tubagem de plástico ligado à base do filtro. A camada filtrante é colocada no molde. Posteriormente um difusor de metal quadrado é construído e são colocados cerca de 5 kg de ferro no topo do difusor. Finalmente o filtro é tapado com uma tampa para evitar contaminação exterior. (CAWST, 2009)

A constituição do meio filtrante, bem como a altura e porosidade de cada camada deste são as mesmas que o biofiltro lento de areia anterior (Tabbal, 2002).

Para a água ser filtrada basta colocar a água bruta na parte superior do filtro e deixar que esta passe pelo difusor e pela camada filtrante. A água filtrada é depois recolhida pela tubagem de plástico e armazenada de forma segura num recipiente (Tabbal, 2002).
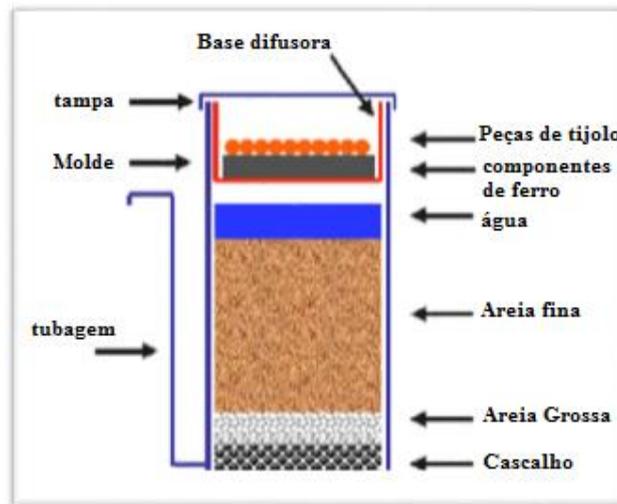
Figura 8.7 Esquema representativo de Kanchan® (Fonte: Adaptado de CAWST, 2009).

### *8.1.2.3.Ultrafiltração*

#### 8.1.2.3.1. Lifestraw family®1.0

Em 2005 o dono da atual companhia fundadora da marca “*Lifestraw*” desenvolveu o primeiro modelo deste tipo de filtração. A companhia “Vestergaard Frandsen” foi criada em 1957 em Kolding, na Dinamarca. Segundo a página oficial da marca, revistas como a “*Time magazine*” nomearam a marca como a “Melhor invenção de 2005”.

A marca Lifestraw family®1.0 é um sistema de ultrafiltração que filtra a água com uma taxa de cerca de 6 a 8 L/h com um tempo de vida total correspondente a um volume filtrado de 18000 litros. (CAWST, 2009)

Segundo o *site* oficial da marca, existem vários passos a ter em conta para que a água seja filtrada com sucesso: A água bruta é colocada num recipiente com um filtro removível de 80 micrometros para remover a turvação. Posteriormente, a água passa por uma tubagem em PVC e a gravidade cria uma pressão suficiente na membrana para alcançar uma taxa de filtração elevada. A água entra na membrana de ultrafiltração (com uma porosidade de 20 nm) removendo a restante matéria em suspensão, bactérias e vírus. Finalmente, a água filtrada pode ser recolhida, rodando a “torneira” azul. A matéria acumulada pode ser removida pela base do produto, pressionando três vezes a bola vermelha.
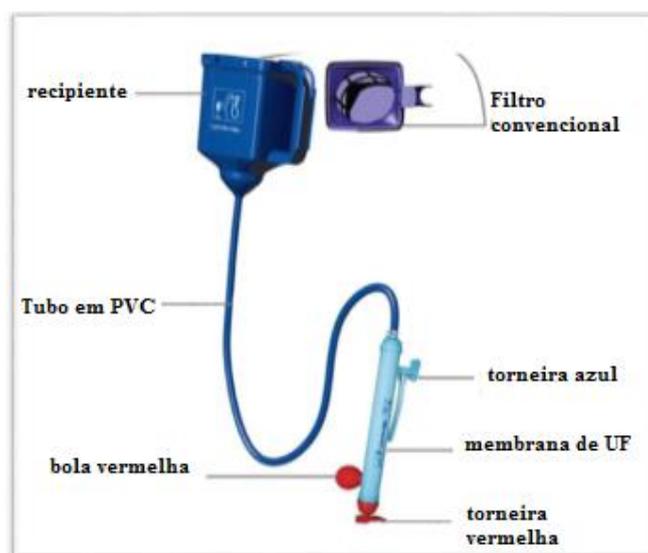
Figura 8.8 Esquema representativo do modelo Lifestraw family®1.0 (Fonte: Adaptado de Lifestraw, 2014).

Algumas das vantagens e desvantagens deste produto estão representados na tabela 8.7.

Tabela 8.7 Principais vantagens e desvantagens na separação de membranas por ultrafiltração com Lifestraw®1.0

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Remove eficientemente as bactérias e turvação | Necessita de pré-tratamento caso a água bruta tenha turvação elevada e pós desinfeção porque a eficiência de remoção de *E.coli* não é total. |
| Fácil de usar. | Não deixa residual, podendo haver risco de recontaminação. |
| Fácil de transportar. | Não produz volumes elevados de água filtrada. |

*FONTE: Lifestraw (2014) e Almeida (2013)*

As características principais de cada tecnologia de filtração, nomeadamente a capacidade de tratamento, a taxa de filtração, a eficiência, necessidade de pré-tratamento/pós-tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil estão representados na tabela 8.8.

Tabela 8.8 Descrição da capacidade, taxa de filtração, eficiência, pré e pós tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil de STARAS de filtração

| **Filtração** | **Capacidade (l/h)** | **Taxa de filtração ($m^3/m^2.h$)** | **Eficiência (%remoção)** | **Pré-tratamento/ Pós tratamento[7]** | **Disponibilidade local** | **Manutenção** | **Aceitação social** | **Facilidade de uso** | **Tempo de vida útil** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Filtron® | 1 a 2[8] | 0,014 | Turvação:[8] 83 | Se Turvação> 50 NTU | Podem ser produzidos localmente[7] | Necessita de limpeza periódica para remover as impurezas acumuladas[9] | Aceitação elevada[10] | Limita-se apenas a encher a água bruta e recolher a água tratada[10] | 1 a 2 anos[7] |
| Stefani® | 0,1[11] | 0,035 | Turvação[11]: 98,8 | Se Turvação> 50 NTU | O filtro é produzido a nível nacional e restantes peças podem ser produzidas localmente[11] | Necessita de limpeza periódica quando a taxa de filtração diminuir[11] | Aceitação elevada[11] | Encher com água a tratar e recolher posteriormente a água tratada | 6 meses para a vela e 5 anos para o conteúdo de plástico[7] |
| Hydraid® | 47[12] | 0,52[12] | Turvação:[12] 87 | Se Turvação> 50 NTU | Podem ser produzidos localmente[7] | Necessita de limpeza periódica[9] | Aceitação elevada[9] | Limita-se apenas a encher a água bruta e recolher a água tratada | 10 anos[7] |
| Kanchan® | 10 a 20[13] | 0,14 | Turvação:[14] 80 a 95 Arsénio:[13] 93 a 97,5 | Se Turvação> 50 NTU | Podem ser produzidos localmente[7] | Limpeza periódica quando a taxa de filtração diminui[9] | Aceitação elevada[9] | Limita-se apenas a encher a água bruta e recolher a água tratada[10] | 10 anos. O ferro necessita de ser substituído em cada 2 a 3 anos[7] |
| Lifestraw family®1.0 | 6[8] | 0,068 a 0,17 | Bactérias:[15] >99,9 Vírus:[15] 99,99 | Se turvação > 50 NTU | Não é produzido localmente[7] | Lavagem diária dos cartuchos[15] | Não foram encontrados dados relativamente a este assunto. | Limita-se apenas a encher a água bruta e recolher a água tratada | Cerca de 2 anos, considerando 20l/dia[7] |

[7] CAWST (2009)
[8] Lantagne (2001)
[9] Sobsey *et al.* (2008)
[10] Peter-Varbanets *et al.* (2009)
[11] Franz (2005)
[12] Kikkawa (2007)
[13] Tabbal (2002)
[14] Buzunis (1995), citado por CAWST (2009)
[15] Vestergaard (2014)

### 8.1.3. Reagentes

#### *8.1.3.1. PUR®*

O produto PUR® permite satisfazer o processo de coagulação, floculação e desinfeção. Este produto foi desenvolvido pela empresa "*Procter & Gamble*" (P&G) com a colaboração do CDC. Este produto é vendido em saquetas, permitindo a remoção de turvação e agentes patogénicos num volume de 10 litros de água. A água tratada contém cloro residual para evitar a recontaminação da água. (CAWST, 2009)

Segundo Laurent (2005), a composição do produto PUR® inclui um coagulante (sulfato de ferro), um agente alcalino (carbonato de sódio), um polímero (poliacrilamida, bentonita, chitosan) e um desinfetante (hipoclorito de cálcio).

Segundo P&G, o nível de polímero usado é de 3 mg/l, valor dentro das concentrações tipicamente usadas. O polímero é aprovado e cumpre com os requerimentos da Agência de Proteção do Ambiente nos Estados Unidos da América segundo a percentagem e dose de acrilamida utilizada (0,5 ug/L).

A sequência de tratamento segue os seguintes passos (CAWST, 2009):

- O produto é adicionado a 10 litros de água e misturado vigorosamente e continuamente durante alguns minutos;
- A água é deixada em repouso durante cerca de 30 minutos, por forma a serem formados flocos;
- Após o processo de floculação, o tratamento da água deve incluir as etapas de decantação e, posteriormente filtração;
- Finalmente, por forma a que a etapa de desinfeção seja eficiente, aconselha-se um tempo de contato de 20 minutos.

Figura 8.9 Produto PUR® (Fonte: CAWST, 2009)

A tabela 8.9 descreve algumas das vantagens e desvantagens da utilização do produto PUR.

Tabela 8.9 Principais vantagens e desvantagens do produto PUR®

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| Eficiência elevada na eliminação de agentes patogénicos, comprovado em vários estudos; | Potencial produção de subprodutos na etapa de desinfeção, dependendo das características da água bruta. |
| Eficaz em vários tipos de água, com turvação elevada, pH elevado, temperatura baixa. | Sabor desagradável. |
| Fornece cloro residual que evita a recontaminação da água. | A dose de cloro é constante, o que pode resultar num excesso ou num défice de dose de cloro residual na água tratada, dependendo da qualidade da água bruta. |

*FONTE: Laurent (2005)*

#### *8.1.3.2. Moringa Oleifera*

A árvore *Moringa Oleifera* faz parte da família *Moringaceae*, com apenas um género e 14 espécies. É conhecida nos países em desenvolvimento como um vegetal e ainda como uma planta medicinal. Esta planta, em condições ideais, pode produzir entre 50 a 70kg de vagens. Nativa da India, cresce em diferentes países tropicais, como é o caso do Brasil, existindo no estado do Maranhão desde a década de 50 (Rangel, 1999 e Gomes, 2011).

Os componentes ativos da planta *Moringa Oleifera* são péptidos catiónicos que possuem um baixo peso molecular (entre 6 a 16 kDa). As sementes desta planta quando são dissolvidas em água adquirem carga positiva, permitindo anular a carga negativa das partículas presentes na água, tal como argilas, bactérias e outras partículas tóxicas na água. Este mecanismo vai permitir a destabilização das partículas (coagulação) e a agregação das mesmas, formando flocos (floculação). Os flocos formados, são passíveis de ser removidos pela sua separação gravítica (decantação) da água (Paterniani *et al.*, 2009 e Gomes, 2011).
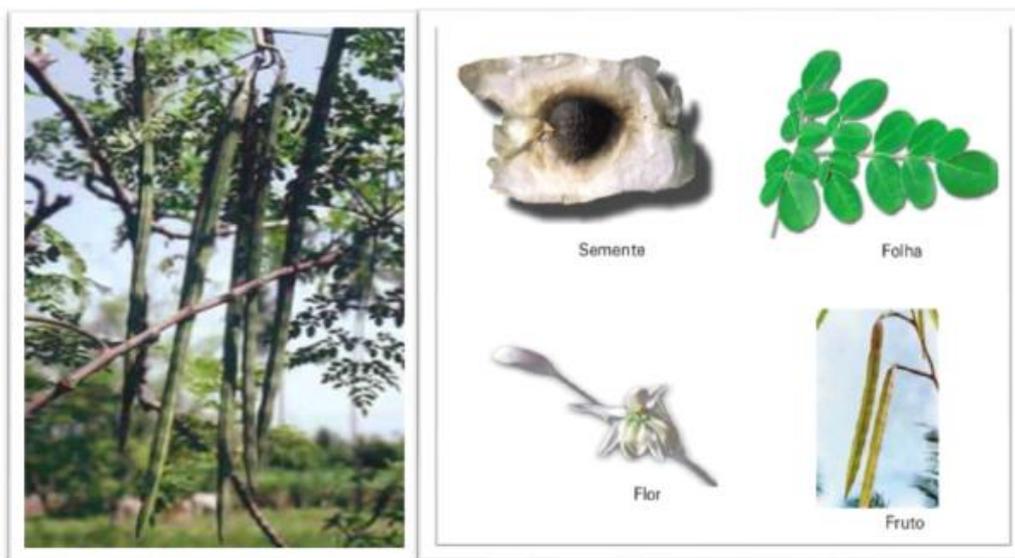
Figura 8.10 Árvore e partes constituintes da planta *Moringa Oleifera* (Fonte: Adaptado de CAWST, 2009 e Gomes, 2011).

As sementes são extraídas do fruto da planta, secadas durante cerca de 3 dias e trituras até ser formado um pó fino. Posteriormente é doseada a quantidade de coagulante a adicionar à água. Finalmente, após uma mistura da solução entre 5 a 10 minutos deixar esta em repouso para que a matéria em suspensão decante e seja removida (Yongabi, 2010).

Posteriormente são analisados os efeitos do pH, de microrganismos patogénicos, das algas, do carbono orgânico dissolvido e da turvação na água após a adição das sementes de *Moringa Oleifera*.

Segundo Sanchez-Martin *et al.* (2012), a eficiência do processo de coagulação é maior em meios ácidos, tornando a proteína altamente catiónica e aumentando assim o seu poder floculante. Caso o pH da água a tratar seja alcalino, este pode ser previamente diminuído através da adição prévia de sumo de lima ou de limão para inativar os microrganismos patogénicos e, posteriormente, este será aumentado, usando as sementes de *Moringa Oleifera* (Yongabi, 2010).

No que diz respeito à eficiência de redução de microrganismos, existem registos de reduções até os 94 e 96% no caso dos coliformes totais. Assim sendo, sistemas como filtração lenta de areia podem aumentar a sua eficiência com esta remoção (Sanchez-Martin *et al.*, 2012).

Relativamente ao carbono orgânico dissolvido (COD), verificou-se um aumento deste após a adição do agente coagulante. Este fenómeno deve-se ao facto de ser usado um coagulante de origem vegetal que liberta ortofosfatos e nitratos. Apesar disto, não se considera que seja um factor perigoso porque a matéria orgânica é de origem natural e não existem dados que possam ter um efeito tóxico. Pode ser considerado um factor inconveniente caso a água seja armazenada por um longo período de tempo ou tratada posteriormente com cloro sem passar pelo processo de filtração, potenciando a formação de THM (Sanchez-Martin *et al.*, 2012).

Relativamente à remoção de algas, Sanchez-Martin *et al.* (2012), verificaram, num estudo feito no rio Nilo, que a adição das sementes de *Moringa Oleifera* provocou a remoção de 97% de algas, sem utilizar uma pré-cloragem. (Shehata *et al.*, 2008).

Lea (2010) verificou, relativamente ao parâmetro turvação, uma eficiência de remoção de turvação entre 83,2% e 99,8%.

Apresenta-se na tabela 8.10 as dosagens de coagulante em função da turvação da água.

Tabela 8.10 Dose de coagulante a adicionar tendo em conta a turvação da água bruta.

| Turvação da água bruta (NTU) | Dose de coagulante (sementes/litro) | Dose de coagulante (mg/litro) |
|---|---|---|
| <50 | 1 semente/ 4 litros | 50 mg/L |
| 50-150 | 1 semente/ 2 litros | 100 mg/L |
| 150-250 | 1 semente/litro | 200 mg/L |
| >250 | 2 sementes/litro | 400 mg/L |

*FONTE: Adaptado de Lea (2010)*

´

O tratamento de água utilizando sementes de *Moringa Oleifera* pode ser comparado com os processos que utilizam agentes coagulantes convencionais (sais de alumínio, por exemplo) ou polímeros orgânicos sintéticos. Os polímeros orgânicos sintéticos são adsorvidos sobre a superfície do colóide, sendo o mecanismo de agregação devido a pontes interpartículas.

A figura 8.11 mostra os resultados comparativos obtidos com vários coagulantes sob as mesmas condições (pH 7, 20ºC, condições standard de Jar-test e 10 mg/l de dose de coagulante/floculante). Foi observado que a eficiência de remoção de turvação foi ligeiramente inferior ao sulfato de alumínio, similar ao floculante policarilamida (CS-49) e superior aos restantes compostos sintéticos. Esta observação confirma a possibilidade de serem substituídos coagulantes químicos pelo coagulante *Moringa Oleifera* (Sanchez-Martin *et al.*, 2012).
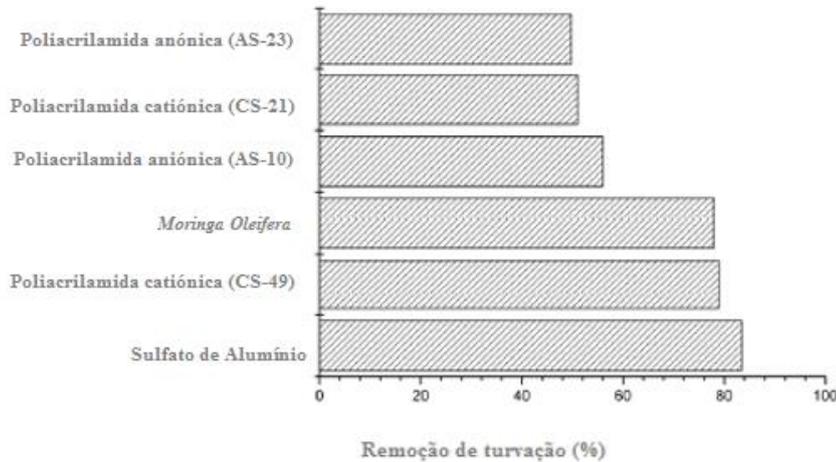
Figura 8.11 Gráfico correspondente à percentagem de remoção de turvação conforme o coagulante/floculante utilizado (Fonte: Sanchez-Martin *et al*., 2012)

Assim, consta-se que as sementes de *Moringa Oleifera* podem ser uma boa alternativa aos coagulantes convencionais.

Na tabela 8.11, são apresentadas algumas das vantagens e desvantagens deste reagente.

Tabela 8.11 Principais vantagens e desvantagens da utilização de *Moringa Oleifera* como agente coagulante.

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|
| As lamas resultantes do processo além de serem orgânicas e não apresentarem compostos potencialmente perigosos como é o caso da utilização de coagulantes químicos (caso de sais de alumínio), produzem menor volume de lamas. Como tal, o custo para tratar é proporcional ao volume de lamas, tornando assim o tratamento mais económico e sustentável. | Sabor desagradável pela presença de ortofosfatos e nitratos, deixados pelo processo de coagulação/floculação. |
| Podem ser produzidas a nível nacional | Não é aconselhada uma pós cloragem devido à presença de matéria orgânica deixada pelo processo. |

*FONTE: CAWST (2009) e Gomes (2011)*

As características principais do produto PUR® e das sementes da planta *Moringa Oleifera* utilizadas como agente coagulante, nomeadamente a capacidade de tratamento, a eficiência, necessidade de pré-tratamento/pós-tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil estão representados na tabela 8.12.

Tabela 8.12 Capacidade, eficiência, pré e pós tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil dos reagentes.

| Desinfeção | Capacidade (l/dia) | Eficiência (% remoção) | Pré-tratamento/ Pós tratamento | Disponibilidade local | Manutenção | Aceitação social | Facilidade de uso | Tempo de vida útil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PUR®** | $10^{18}$ | *E.coli:* [16] 100 Vírus: [16] >99,99 Turvação[17] 100 Arsénio[16] 99,5 | pH entre 5,5 a 7,5 e desinfeção não resulta com pH acima de 9; Ausência de MO[18]. Após o processo a água necessita de passar pela etapa de decantação.[19] | As saquetas são produzidas em poucos locais, são importadas na maioria das vezes.[19] | Não requer | Baixa[18] | Requer vários passos operacionais | 3 anos.[18] |
| **Moringa oleifera** | Depende do valor de turvação | Bactérias:[20] 94 Turvação:[20] >75 | Não é necessário | Existem registos que esta planta se encontra disponível no estado do Maranhão desde 1950.[21] Pode ser preparado no próprio local.[22] | Não requer | Alguns consumidores reclamar do sabor desagradável[18] | Requer vários passos operacionais | As sementes secas podem ser guardadas um largo período de tempo[18] |

[16] Laurent (2005)
[17] Allgood (2004), citado por CAWST (2009)
[18] CAWST (2009)
[19] Sobsey *et al.* (2008)
[20] Peres *et al*. (2012)
[21] Rangel (1999)
[22] Yongaby (2010)

## 8.2. SISTEMAS COMUNITÁRIOS

### 8.2.1. Tratamento convencional

Com o objetivo de complementar os sistemas de tratamento de água, apresentados nas soluções unifamiliares, optou-se por dimensionar um sistema de tratamento convencional, que permita o fornecimento de água a nível comunitário a partir dos denominados “Quiosques”.

O dimensionamento convencional passa pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e posterior desinfeção. Este sistema foi dimensionado para a população de Pracuúba, no estado de Amapá, pois a água bruta que abasteceria esta população apresenta valores elevados de turvação, bactérias e encontra-se hipereutrofizada. Assim, o tratamento convencional é dimensionado para uma população de 2 945 habitantes, garantido apenas o consumo direto, ao qual se associa uma capitação de 5 l/hab.dia, perfazendo um caudal diário de 15 $m^3$/dia. Tendo em consideração alguns desperdícios de água e também garantindo água necessária à lavagem dos filtros, considerou-se um acréscimo de 10% ao caudal diário, passando o dimensionamento a ser feito com base num caudal de 16,5 $m^3$/dia.

O dimensionamento foi feito tendo em consideração dois períodos de funcionamento, seis e oito horas, a fim de que pudessem ser comparados os diferentes resultados de funcionamento e de dimensões construtivas e, assim ser escolhida a melhor opção. Foi escolhido como maior período de funcionamento oito horas porque valores acima deste as dimensões dos órgãos seriam demasiado pequenas, resultando num sistema inviável. Contudo, sabe-se que períodos de funcionamento inferiores a seis horas não são viáveis pois não é o suficiente para que o sistema de tratamento de água conclua todas as etapas eficazmente, visto que só o decantador tem três horas de retenção.

Considera-se que as etapas deste sistema de tratamento de água convencional são feitas a partir de escoamento gravítico, exceto na linha de tratamento correspondente à lavagem dos filtros. Nesta fase seria aproveitada a energia solar, através da utilização de painéis fotovoltaicos, que forneceriam energia para a lavagem em contra-corrente de água (a ser explicado posteriormente) e na bombagem da água para montante da estação. A lavagem dos filtros é feita em cada 12 dias, para o período de funcionamento de seis horas e nove dias para o período de funcionamento de oito horas e, como tal, a energia solar, convertida em energia elétrica, que não é utilizada diariamente, pode ser armazenada, compensando os dias com condições meteorológicas desfavoráveis.

#### *8.2.1.1.Coagulação e Floculação*

A mistura rápida utiliza a energia dissipada na queda de água, permitindo a dispersão eficiente do coagulante. Assim, considera-se que esta etapa se realize num descarregador retangular. A altura da

queda de água terá de ser superior à perda de carga calculada, por forma a que a mistura seja bem sucedida. (Gomes, 2011).

O agente coagulante utilizado foi a semente de *Moringa Oleifera* pois, tal como referido anteriormente, trata-se de um reagente natural que pode ser produzido a nível nacional.

A câmara de mistura lenta (floculação) apresenta uma forma retangular com apenas um compartimento e, consequentemente com um único gradiente de velocidade (G), pois o caudal a tratar é pequeno e não é justificável haver mais que um compartimento e mais que um gradiente de velocidade.

No caso da mistura rápida (coagulação), foi escolhido um tempo de retenção de 3 segundos e um G de 1000 $s^{-1}$. Relativamente à floculação o valor do tempo de retenção escolhido foi de 20 minutos.

Após ser calculado o volume do órgão com base nos critérios de dimensionamento e respetivas dimensões foi calculada foi calculada a perda de carga a partir da equação (2) e com base na equação (3) foi calculada a perda de carga resultante do processo de mistura rápida.

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \times \mu}} \quad (2)$$

Onde:

G – Gradiente de velocidade ($s^{-1}$);

P- Potência útil (W);

V- Volume do órgão (m3);

$\mu$ – Viscosidade da água a uma temperatura de 20ºC (1,002 x $10^{-3}$ N.s/$m^2$)

$$P = \gamma \times Q \times \Delta H \quad (3)$$

Onde:

P- Potência útil (W);

$\gamma$ – Peso específico da água (9800 N.$m^3$);

Q – Caudal ($m^3$/s);

$\Delta$H- Perda de carga (m).

Relativamente à mistura lenta, o floculador será de fluxo horizontal pois caso fosse de fluxo vertical seria necessário ter em consideração a altura da câmara que seria superior à do fluxo horizontal e que não resultaria num bom funcionamento, pois o caudal a tratar é baixo.

#### *8.2.1.2.Decantação convencional*

O decantador foi dimensionado com uma forma circular, possuindo um local de extração de lamas manual com fundo cónico com uma inclinação de 55º. Os valores dos critérios de dimensionamento escolhidos para a carga hidráulica e para o tempo de retenção foram, respetivamente, 1 $m^3/m^2.h$ e de 3 horas.

#### *8.2.1.3.Filtração*

O processo de filtração é assegurado por filtros rápidos de areia, pois são filtros que além possuírem taxas de filtração superiores aos filtros lentos, tornam a estação mais compacta e com custos de construção menores que os filtros lentos. O leito filtrante é de camada simples com 60 centímetros de altura, composto por uma única camada de areia fina, por ser o material mais barato, de granulometria uniforme (Almeida, 2013).

Os filtros têm forma quadrangular. Considera-se que os filtros necessitem de ser lavados ao fim de 72 horas de funcionamento. No caso do período de funcionamento de 6 horas a lavagem seria feita em cada 12 dias e no período de funcionamento de 8 horas em cada 9 dias, com lavagem com água em contra-corrente. Embora na conceção de sistemas de tratamento a etapa de filtração preveja a existência de três filtros, como sendo o número mínimo de filtros, de acordo com os critérios de otimização, neste caso, dada as características e dimensões dos sistemas, previu-se a existência, apenas, de dois filtros, admitindo-se que um funcionaria apenas em alternativa ou em situações que houvesse necessidade de lavagem dentro do período normal de funcionamento.

A quantidade de água de lavagem gasta num ciclo de filtração deve ser entre 3 a 5% do volume de água filtrada e a velocidade de lavagem deve garantir uma expansão de 20% do leito filtrante. Um conjunto de caleiras de superfície recolhe a água de lavagem, sendo conduzida seguidamente para um tanque de equalização, no intuito do caudal ser distribuído igualmente entre o período de lavagem para montante da estação de tratamento de água (Almeida, 2013).

#### *8.2.1.4.Desinfeção*

A desinfeção é feita numa cisterna de contato com a forma quadrada garantindo-se um tempo de contato de 30 minutos, onde será adicionado cloro líquido (hipoclorito de sódio), como agente desinfetante, escolhido para esta etapa. A adição de cloro na água filtrada é efetuada manualmente por um membro da comunidade devidamente treinado pelo produtor. Sendo que a lavagem dos filtros é feita em cada período de funcionamento de 72 horas, parte do caudal diário, após o processo de desinfeção, é encaminhado para um tanque de equalização e, quando necessário, transportado por bombagem para lavagem dos filtros.

A água tratada seria encaminhada para um reservatório de água tratada, local onde seria feita a recolha da água diretamente pela população.

#### *8.2.1.5.Lamas*

Segundo Gomes (2011), tendo em conta que não foi encontrada informação relativamente à quantidade e qualidade das lamas formadas pelas sementes de *Moringa Oleifera*, admite-se que o volume de lamas extraído no decantador é equivalente entre 1 a 2% do caudal afluente diário. Sendo um reagente natural, sabe-se que as lamas formadas são biodegradáveis, sem a presença de compostos que contaminam o solo e, que podem ser utilizadas como fertilizante (Gomes, 2011).

A figura 8.12 diz respeito à linha de tratamento dimensionada. A tabela 8.13 diz respeito ao dimensionamento hidráulico das etapas de coagulação e floculação, dimensionamento do decantador, do filtro rápido de camada simples de areia e da cisterna de contato de desinfeção.
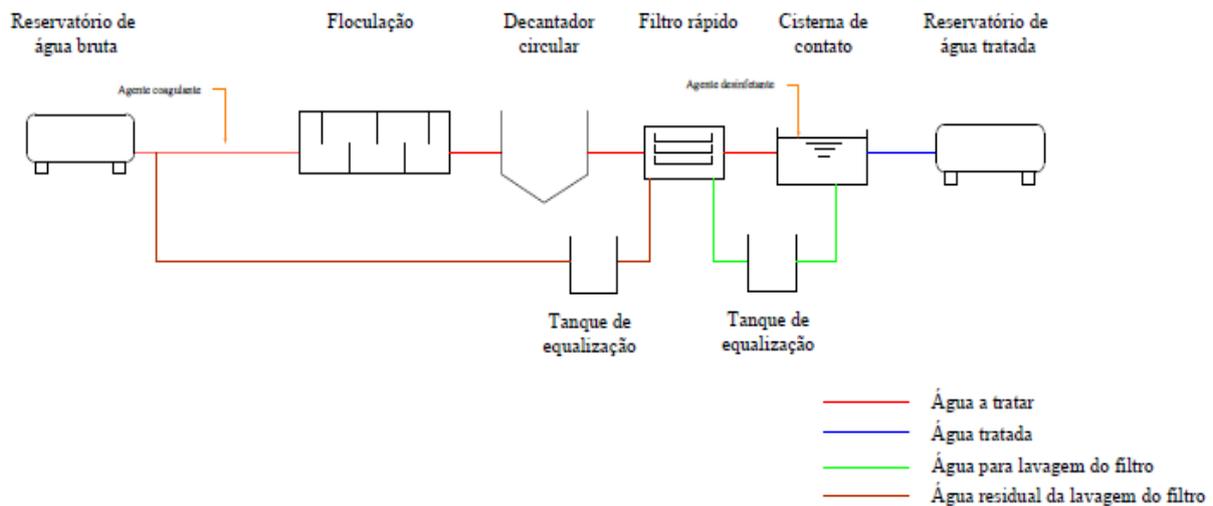
Figura 8.12 Representação do sistema de tratamento convencional.

Tabela 8.13 Dimensionamento dos processos e operações unitárias do tratamento convencional

| | | | Período de funcionamento (h) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 6 | 8 |
| | | | Capitação (l/hab.dia) | |
| | | | 5 | 5 |
| | | | Caudal ($m^3/s$) | |
| | | | $7,64 \times 10^{-4}$ | $5,73 \times 10^{-4}$ |
| PROCESSOS E OPERAÇÕES UNITÁRIAS | Coagulação | G ($s^{-1}$) | 1000 | 1000 |
| | | Tempo de retenção (s) | 3 | 3 |
| | | Volume (m3) | $2,29 \times 10^{-3}$ | $1,72 \times 10^{-3}$ |
| | | Potência útil (W) | 2,30 | 1,72 |
| | | Perda de carga (m) | 0,31 | 0,31 |
| | Floculação | Tempo de retenção (min) | 20 | 20 |
| | | Volume ($m^3$) | 0,99 | 0,75 |
| | | Área útil ($m^2$) | 1,54 | 1,31 |
| | | Altura útil (m) | 0,65 | 0,57 |
| | | Largura da câmara (m) | 0,81 | 0,77 |
| | | Comprimento da câmara (m) | 1,90 | 1,70 |
| | | Espaçamento entre chicanas (a) (m) | 0,15 | 0,15 |
| | | Comprimento das chicanas (m) | 0,55 | 0,48 |
| | | Nº canais | 12 | 11 |
| | | Nº chicanas | 11 | 10 |
| | | Velocidade da água nos canais (m/s) | 0,35 | 0,35 |
| | | Velocidade entre os canais (m/s) | 0,23 | 0,23 |
| | | Raio hidráulico (m) | 0,067 | 0,066 |
| | | Coeficiente de Chezy ($m^{1/2}/s$) | 47,82 | 47,71 |
| | | Perda de carga localizada (m) | 0,11 | 0,10 |
| | | Perda de carga continua (m) | 0,0016 | 0,0015 |
| | | Perda de carga total (m) | 0,11 | 0,10 |
| | | Potência (W) | 0,92 | 0,62 |
| | | G ($s^{-1}$) | 30,37 | 28,70 |
| | Decantação circular | Carga hidráulica (m3/m2.h) | 1 | 1 |
| | | Tempo de retenção (h) | 3 | 3 |
| | | Inclinação de fundo (º) | 55 | 55 |
| | | Área ($m^2$) | 2,75 | 2,06 |
| | | Diâmetro (m) | 1,87 | 1,62 |
| | | Volume útil ($m^3$) | 8,25 | 6,19 |
| | | Altura útil (m) | 3 | 3 |

Tabela 8.13 Dimensionamento dos processos e operações unitárias do tratamento convencional (continuação)

| | | | Período de funcionamento (h) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 6 | 8 |
| | | | Capitação (l/hab.dia) | |
| | | | 5 | 5 |
| | | | Caudal ($m^3/s$) | |
| | | | 7,64 x $10^{-4}$ | 5,73 x $10^{-4}$ |
| **PROCESSOS E OPERAÇÕES UNITÁRIAS** | **Filtração rápida** | Taxa de filtração ($m^3/m^2.h$) | 4 | 4 |
| | | Número de filtros (u.n) | 1+1 | 1+1 |
| | | Área ($m^2$) | 0,69 | 0,52 |
| | | B/L | 1 | 1 |
| | | Comprimento (m) | 0.83 | 0.72 |
| | | Largura (m) | 0.83 | 0.72 |
| | | Tempo de lavagem (min) | 10 | 10 |
| | | Velocidade de lavagem (m/h) | 34,7 | 34,7 |
| | | Volume de lavagem em cada 72 horas ($m^3$) | 3,98 | 2,98 |
| | **Desinfeção** | Tempo de contato (min) | 30 | 30 |
| | | Volume ($m^3$) | 1,38 | 1,03 |
| | | Altura (m) | 1,11 | 1,01 |
| | | Área ($m^2$) | 1,24 | 1,02 |
| | | Comprimento (m) | 1,11 | 1,01 |
| | | Largura (m) | 1,11 | 1,01 |

### 8.2.2. Instalação de Osmose Inversa Solar (IOIS)

Originalmente, o estudo desta tecnologia serviu para o tratamento de sistemas de dessalinização solar em pequena escala. Contudo, tendo como base a tecnologia de separação de membranas por osmose inversa ou nanofiltração, este sistema pode ser usado para outros fins, como é o caso da remoção de metais pesados ou outros compostos poli e/ou monovalentes.

Discussões com várias comunidades levaram à necessidade de se desenvolver um sistema simples e robusto de tratamento de água que, além de incorporar a etapa de desinfeção, permite, ainda, remover vários contaminantes, tais como o arsénio ou nitratos. Tais preocupações levaram ao desenvolvimento de uma unidade osmose inversa utilizando painéis fotovoltaicos (PV), denominada "Instalação de Osmose Inversa Solar" (IOIS), que foi dimensionada para permitir uma produção de 1000 litros por dia de água potável a partir de várias fontes de águas subterrâneas ou de superfície, com o intuito de atender à procura de uma pequena comunidade até 200 pessoas (Carvalho *et al.*, 2004 e Shãfer *et al.*, 2005).

O conceito geral para a instalação de "IOIS" consiste no uso de módulos de energia solar que fornecem energia elétrica para as bombas que produzem a força motriz no processo de separação de membranas. O sistema fornece água potável a partir de uma variedade de possíveis fontes de água, variando entre águas de superfície com elevada turvação a elevada salinidade da água salobra (Carvalho *et al.*, 2004 e Shãfer *et al.*, 2005).

Um diagrama esquemático do sistema de IOIS é mostrado na figura 8.13. A etapa de pré – tratamento é uma membrana de ultrafiltração (UF), a qual é seguida pela membrana de osmose inversa (OI) ou de nanofiltração (NF). A membrana UF remove a maioria de agentes patogénicos como bactérias, bem como partículas coloidais, tais como vírus. As membranas de UF apresentam, de acordo com o fabricante, um diâmetro nominal de porosidade de 0,4 μm, uma área superficial da membrana de 0,93 $m^2$ por módulo, uma faixa de pressão de 0,07 a 0,55 bar com uma taxa de permeado de 0,7L/min. Este pré-tratamento protege a membrana OI / NF de colmatação e, portanto, reduz a frequência de limpeza destes módulos. A membrana de OI / NF retém compostos iónicos e matéria orgânica dissolvida, diminuindo a salinidade e uma proporção de contaminantes perigosos, matéria orgânica, bem como materiais orgânicos dissolvidos (Carvalho *et al.*, 2004 e Shãfer *et al.*, 2005).
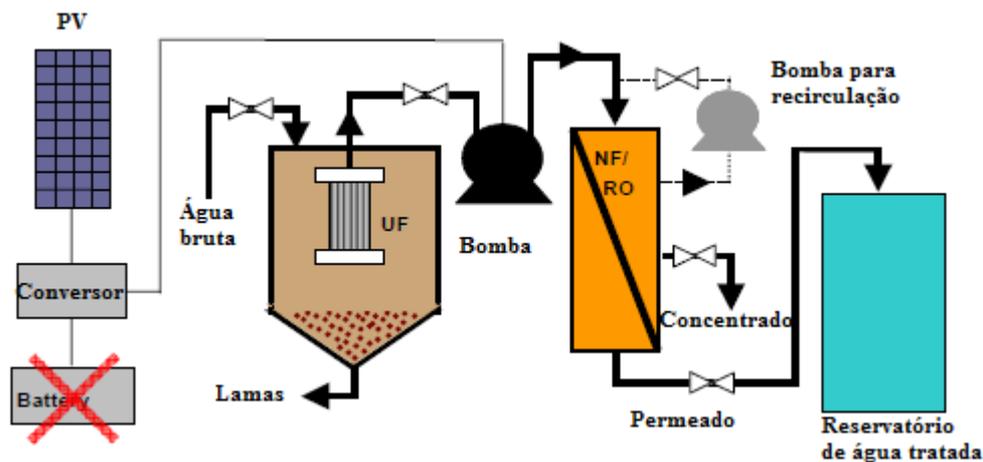
Figura 8.13 Esquema representativo do sistema IOSI (Fonte: Shãfer et al., 2005).

O sistema tem de ser robusto, quase livre de manutenção e deve ser capaz de executar a operação autonomamente.

O dimensionamento de um sistema de separação de membranas com elevada eficiência depende essencialmente da taxa de permeado, percentagem de recuperação, rejeição de contaminantes, pressão de operação com o mínimo de energia utilizada e mínimo de colmatação. Assim sendo, as membranas de OI/NF são selecionadas a partir de vários fabricantes, com a intenção de variar a membrana, dependendo da qualidade da água bruta (Carvalho *et al.*, 2004 e Shãfer *et al.*, 2005).

Para a operação e limpeza semanal dos módulos e verificação de problemas do sistema IOSI em Ceará, foi escolhida um membro da comunidade, devidamente treinado pelos produtores (Carvalho *et al.*, 2004 e Shãfer *et al.*, 2005).

As características principais de cada "Quiosque", nomeadamente a capacidade de tratamento, a eficiência, necessidade de pré-tratamento/pós-tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil estão representados na tabela 8.14.

Tabela 8.14 Descrição da capacidade, eficiência, pré e pós tratamento, disponibilidade local, manutenção, aceitação social, facilidade de uso e tempo de vida útil dos "Quiosques"

| Desinfeção | Capacidade (l/dia) | Eficiência | Pré-tratamento/ Pós tratamento | Disponibilidade local | Manutenção | Aceitação social | Facilidade de uso | Tempo de vida útil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **IOSI** | 1338[23] (tendo em conta um período de funcionamento de 6h/dia | O pré-tratamento através de UF permite remover turvação, bactérias e vírus. A OI permite remover adicionalmente metais pesados[24] | UF antes de OI Se turvação >1NTU[24] | Não foi encontrada informação. | Limpar membranas periodicamente.[1] Substituir cartuchos uma a duas vezes por ano[25] | Não foi encontrada informação | Fácil. Basta ligar e desligar o sistema | 20 anos[23] |
| **Tratamento convencional** | 16500 | Permite a remoção de MO, turvação e agentes patogénicos | Este sistema combina várias operações e processos unitários | Materiais do meio filtrante pode ser encontrado localmente. Restantes materiais através de um produtor regional/nacional | Limpeza periódica e monitorização periódica | Ainda não foi implementado | Fácil. | Considera-se 20 anos |

[23] Carvalho *et al* (2004)
[24] Almeida (2013)
[25] Peter-Varbanets (2009)

## 8.3. ARMAZENAMENTO SEGURO

Após o tratamento adequado da água bruta, é necessário um armazenamento seguro, por forma a evitar riscos de recontaminação da água tratada. Sobsey (2002), defende que o recipiente mais adequado para armazenamento seguro da água tratada deve incluir os seguintes critérios:

- Capacidade para armazenar cerca de 10 a 25 litros, com forma retangular ou cilíndrica, com fundo plano e com pelo menos uma pega;
- Construído com materiais leves, resistentes à oxidação (como é o caso do polietileno de alta densidade);
- Protegido com uma tampa de fácil abertura, com tamanho suficiente para facilitar a limpeza, embora suficientemente pequena para evitar a introdução de objetos do meio externo;
- Incorporado com uma torneira para recolher água tratada;
- Acompanhado por um manual de instruções.

Os recipientes localmente disponíveis, nomeadamente baldes, vasos, sacos e recipientes de barro, são geralmente soluções de baixo custo e utilizadas a nível residencial e comunitário. A escolha do recipiente mais adequado depende de fatores como a disponibilidade local dos materiais para a sua construção e dos métodos utilizados no processo de desinfeção da água contaminada, pois esta etapa decorre, em muitos casos, no mesmo local onde a água tratada é posteriormente armazenada. No caso de serem utilizados agentes oxidantes de natureza química, os materiais constituintes do recipiente devem ser resistentes a reações de oxidação, evitando a formação de subprodutos nocivos à saúde humana. Caso o processo de desinfeção seja efetuado através da radiação solar ou da temperatura, o dispositivo deve permitir a entrada da radiação UV e/ou a absorção da energia térmica (Sobsey, 2002).

Aliada aos fatores anteriormente referidos, é crucial a aceitação sociocultural da residência/comunidade a servir. Em vários países, os recipientes de barro são uma prática antiga e ainda muito utilizada no armazenamento de água. Os habitantes preferem este tipo de material, pois além poder ser utilizado para cozinhar, estão habituados ao sabor que a água adquire ao entrar em contato com o barro (Sobsey, 2002).

## 8.4. SELEÇÃO DOS SISTEMAS DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

Na sequência da apresentação de diferentes sistemas de tratamento de água, que se encontram disponíveis no mercado e que podem ser utilizados tanto a nível unifamiliar como a nível comunitário, servindo de alternativa aos sistemas de tratamento centralizados (ETA) integrados nos sistemas de

abastecimento em populações sem acesso a este serviço, torna-se necessário fazer uma caraterização económica, por forma a analisar a sua sustentabilidade económica.

Visto que o objetivo deste trabalho é procurar encontrar soluções de tratamento de água alternativas em zonas economicamente desfavorecidas, torna-se necessário a seleção de sistemas de baixo custo para tratamento de água (SBCTA) que se tornem economicamente sustentáveis para a população a servir.

Por forma a satisfazer o objetivo, foram calculados os custos unitários (euros/m$^3$) de cada um dos sistemas de tratamento de água anteriormente analisados e posteriormente, são escolhido os SBCTA que, segundo Loo *et al* (2012), consideram que devem apresentar custos unitários inferiores a 7,26 euros/m$^3$ (0,01 US$/L).

### 8.4.1. Sistemas unifamiliares

Os sistemas de tratamento de água unifamiliares, tal como o nome indica, têm como objetivo tratar um volume de água mínimo que satisfaça os consumos diretos do agregado familiar. Assim, tendo em consideração a capitação admitida (5 litros/habitante.dia), estimou-se a capitação diária por domicílio, sabendo que por cada unidade residencial, existem em média quatro habitantes.

#### *8.4.1.1.Desinfeção*

Para a determinação do custo unitário (euros/m$^3$) dos desinfetantes Waterguard® e Aquatabs®, considerou-se o custo por unidade de produto, o número de unidades necessárias para fornecer diariamente 20 litros e o volume que cada unidade tem capacidade para tratar.

No caso do produto Waterguard®, são utilizados diariamente 5 ml de solução por cada 20 litros a desinfetar e, cada unidade tem capacidade para desinfetar 600 litros de água (CAWST, 2009).

O agente desinfetante Aquatabs®, por cada unidade de 67 mg, com uso diário, tem capacidade para tratar 20 litros (Medentech, 2014).

Assim, a partir da equação (4), calculou-se o custo unitário para os produtos de cloragem.

$$CU = \frac{1000 \times CPU \times n}{Vt} \quad (4)$$

Onde:

CU- Custo unitário (euros/m$^3$);

CPU- Custo por unidade de produto (euros);

n- Número de unidades necessárias;

Vt- Volume total tratado por unidade de produto (litros)

Relativamente ao sistema de tratamento de água SODIS, sabendo o custo de cada garrafa de 1,5 litros e o número de unidades necessárias para tratar 20 litros de água diários, chegou-se ao custo total associado ao sistema SODIS. Posteriormente, considerando que seria necessário a substituição semanal das garrafas PET, chegou-se ao custo unitário do sistema SODIS.

Para o sistema de tratamento de água PTC foi feita uma abordagem diferente. Tendo em conta a falta de informação dos custos associados a este tratamento e ao tempo de vida do sistema, considera-se que os materiais que seriam encontrados a nível local ou regional (tubagem de PEAD, tubagem de aço, reservatórios de PEAD, alumínio e material de suporte) seriam disponibilizados gratuitamente por empresas de materiais de construção, como ato de responsabilidade social. O custo associado ao sistema advém unicamente do preço da válvula termostática. Admitindo-se um tempo de vida de um ano, retira-se o custo unitário do sistema PTC.

A partir da tabela 8.15 conclui-se que os SBCTA são Waterguard®, Aquatabs® e PTC.

Tabela 8.15 Determinação do custo unitário dos agentes desinfetantes de STAAR

| | **Custo por unidade[26] (euros)** | **Número de unidades (u.n)** | **Capacidade diária por domicílio (L/dia)** | **CUSTO UNITÁRIO (euros/m³)** |
|---|---|---|---|---|
| **Waterguard®** | 0,33[27] | 1 | 20 | **0,5** |
| **Aquatabs®** | 0,02[28] | 1 | 20 | **1** |
| **SODIS** | 0,6[29] | 14 | 20 | **60** |
| **PTC** | 12[30] | 1 | 20 | **2** |

### *8.4.1.2.Filtração*

O cálculo do custo unitário (euros/m³) de cada filtro teve em conta os custos de investimento e de manutenção dos elementos de cada filtro para o tempo de vida útil, bem como o volume total filtrado nesse período de tempo. O tempo de vida útil considerado coincide com o elemento do filtro com maior duração. O período de funcionamento associado a cada filtro resultou da divisão entre o volume necessário a filtrar e o caudal horário filtrado.

[26] Preço no mercado, varia dependendo dos locais.
[27] WHO (2008)
[28] Medentech (2009), citado por CAWST(2009)
[29] www.buscape.com.br
[30] Bigoni et al. (2012)

O filtro de cerâmica Filtron®, o biofiltro de areia Hydraid® e a marca Lifestraw Family® não necessitam de manutenções e, como tal o custo unitário dependeu unicamente do custo de investimento dos materiais constituintes.

No caso do filtro de cerâmica Stefani®, O custo de investimento é calculado segundo o capital necessário para a obtenção dos filtros, cada um a custar cerca de 2,2 euros e o custo dos recipientes necessários (são necessário dois por cada filtro), cada um a custar cerca de 1,45 euros (Franz, 2005). Apesar de ser necessário substituir o filtro semestralmente, o tempo de vida útil associado foi de 5 anos, tendo em consideração a duração do recipiente de plástico (CAWST, 2009). Relativamente ao biofiltro de areia Kanchan®, os custos associados à manutenção dependem unicamente da substituição das componentes de ferro no filtro que necessitam de ser substituídas em cada dois anos.

A partir da equação (5), calculou-se o custo unitário dos filtros Filtron®, Hydraid®, Kanchan®, Lifestraw Family®1.0 e Stefani®.

$$CU = \frac{n1 \times (CPUinv + CPUman \times n2)}{Vd \times t} \tag{5}$$

Onde:

$CPU_{inv}$- Custo de investimento por unidade (euros);

$CPU_{man}$- Custo de manutenção por unidade (euros);

CU- Custo unitário (euros/$m^3$);

$n_1$- Número de unidades necessárias;

$n_2$- Número de substituições durante o tempo de vida;

$V_d$- Volume de filtração diário ($m^3$);

t- Tempo de vida útil (dias).

A partir da tabela 8.16 conclui-se que todos os filtros correspondem a SBCTA.

Tabela 8.16 Determinação do custo unitário dos filtros de STAAR.

| | Volume diário por domicílio (L/dia) | Período de funcionamento (horas) | Número de unidades (u.n) | Custo de investimento[31] (euros) | Custo de manutenção[31] (euros/ano) | CUSTO UNITÁRIO (euros/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Filtron®** | 20 | 20 | 1 | 18[32] | - | **2** |
| **Stefani®** | 20 | 20 | 10 | 3,65[33] | 4,4 | **7** |
| **Hydraid®** | 20 | 0,43 | 1 | 54,45[32] | - | **0,8** |
| **Kanchan®** | 20 | 2 | 1 | 22[32] | 1,5 | **0,4** |
| **Lifestraw Family®1.0** | 20 | 3,33 | 1 | 29[32] | - | **2** |

### *8.4.1.3.Reagentes*

Tendo em consideração o custo de cada saqueta do reagente PUR®, bem como o número de unidades diárias necessárias para tratar 20 litros de água, retira-se o custo unitário do produto. A determinação do custo unitário foi feita a partir da equação (4).

No caso da planta *Moringa Oleifera*, tal como foi mencionado anteriormente, sobrevive e desenvolve-se naturalmente em climas tropicais, nomeadamente o Brasil e, como tal, pode ser plantada sem grande intervenção humana, sendo assim, um sistema de tratamento de água praticamente isento de custos. Tendo em conta os valores da turvação dos três estudos de caso, obtido no capítulo 7.3.3, sabe-se que o Lago Piratuba é o único caso que necessita de ser removida turvação, com valores de 57 NTU. Então, o número de sementes necessárias para tratar o volume total por domicílio diário depende exclusivamente de um único valor de turvação. A informação necessária para determinar a dose de coagulante advém da tabela 8.10.

A partir da tabela 8.17 conclui-se que os dois reagentes são SBCTA.

[31] Preço no mercado varia dependendo dos locais.
[32] *CAWST (2009)*
[33] *Franz (2005)*

Tabela 8.17 Determinação do custo unitário dos reagentes de STAAR.

| | Custo por unidade[34] (euros) | Capacidade diária por unidade (L/unidade.dia) | Capitação diária por domicílio (L/domicilio.dia) | Número de unidades necessárias (u.n) | CUSTO UNITÁRIO (euros/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **PUR®** | 0,07[35] | 10 | 20 | 2 | **7** |
| ***Moringa Oleifera*** | Aproximadamente 0 | 2 | 20 | 10 | **0** |

### 8.4.2. Quiosques

Os sistemas de tratamento de água denominados por “Quiosques”, tal como foi dito anteriormente, são sistemas que produzem água a nível comunitário. Para a determinação dos custos unitários é necessário ter em conta o número de habitantes a servir. No caso do sistema IOSI, este encontra-se adequado a servir a população de Faro, uma vez que a origem de água além de apresentar contaminação microbiológica, contém um teor de arsénio superior ao VMP imposto pela legislação.

Relativamente ao tratamento convencional, este foi dimensionado para a população de Pracuúba, pois incorporam operações e processos unitários que permitem a remoção do estado hipereutrofizado, turvação e agentes patogénicos.

O sistema de tratamento de água IOSI associa custos de investimento para um tempo de vida útil de 20 anos, de manutenção anual e salarial mensal. Tendo em conta o número de habitantes a servir e o número de unidades necessárias para servir o volume total diário da população de Faro, é calculado o custo unitário do sistema.

No caso do sistema de tratamento convencional, não foi possível fazer o orçamento associado a este e, como tal, não foi possível ser feita a determinação do custo unitário deste “Quiosque”. Assim, apesar de não ser possível ser selecionado como sistema de baixo custo para tratamento de água, foi apresentado como solução de sistema comunitário para tratamento da origem da água do Lago Piratuba no intuito de que, futuramente, seja feito o seu orçamento.

A partir das tabelas 8.18 e 8.19 conclui-se que o “Quiosque” IOSI é um SBCTA.

[34] Preço no mercado, varia dependendo dos locais.
[35] WHO (2008)

Tabela 8.18 Determinação do número de unidades necessárias do sistema IOSI

| | Capacidade diária por unidade (L/unidade.dia) | Período de funcionamento (horas) | Número de habitantes | Número de unidades necessárias (u.n) |
|---|---|---|---|---|
| **IOSI** | 1 338 | 6 | 3 073 | 12 |

Tabela 8.19 Determinação do custo unitário do sistema IOSI

| | Custo Por unidade´[36] (euros) | Custo de Investimento (euros) | Custo de Manutenção[36] (euros/ano) | Custo de Salário[37] (euros/ano) | CUSTO UNITÁRIO (euros/$m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **IOSI** | 11 992 | 143 904 | 8 316 | 14 400 | **5** |

## 8.5. AVALIAÇÃO DE CADA UM DOS SISTEMAS DE BAIXO CUSTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

A condição necessária para a implementação de um sistema de baixo custo para tratamento de água é a sua sustentabilidade. Para além da eficácia no tratamento de água e na quantidade de água produzida que satisfaça os consumos diretos diários, é importante que o seu uso se torne uma parte da rotina diária dos membros da habitação ou da comunidade. Assim sendo, foi feita uma cotação para a escolha do sistema mais adequado para cada um dos estudos de caso.

Foi atribuída a cotação para cada instrumento de análise e, numa ponderação final, foram atribuídas as cotações totais para cada tecnologia de tratamento. Posteriormente, com base na análise socioeconómica da população de cada estudo de caso, e com base nas cotações totais analisadas neste capítulo será escolhido o modelo que mais se adeque ao estudo de caso analisado.

Os critérios de avaliação para ser selecionado o sistema mais adequado foram baseados nos critérios de avaliação do relatório elaborado por Wacka (2009). Segundo o autor, os critérios foram divididos em três grandes grupos cada um com várias categorias de análise: Planeta, Eficiência e Comunidade. Determinado peso, classificação qualitativa (*Class.*) e pontuação quantitativa (*Pont.*) são atribuídos às categorias de análise para cada sistema de tratamento de água. Posteriormente, soma-se a pontuação atribuída a cada categoria e é escolhido o SBCTA com maior pontuação total (a pontuação

[36] Carvalho *et al.* (2004)
[37] Considerando um salário mensal de 100 euros

inicial para cada sistema é de 100 pontos). A informação para ser atribuída a respetiva classificação e posterior pontuação foi disponibilizada no capítulo anterior.

Caso não exista informação disponível ou que o critério de avaliação não seja aplicável para determinado produto, é atribuída a classificação de X e /, respetivamente, ambos com pontuação nula.

A tabela 8.20 e 8.21 diz respeito à classificação e caraterização dos critérios de avaliação bem como a pontuação e peso associados à classificação dos mesmos.

Tabela 8.20 Classificação e caraterização dos critérios de avaliação

| **Critérios** | ***Class.*** | **Caracterização** |
|---|---|---|
| **Ambiente** | | |
| **Dependência química ou energética** | ++ | Independência química e energética |
| | + | Dependência química ou energética ocasional |
| | +/- | Dependência química ou energética regular |
| | - | Dependência química e energética regular |
| **Produto residual** | ++ | Não existe produto residual |
| | + | Sistema de isolamento residual integrado: produto residual não é perigoso |
| | +/- | Necessidade de construir separadamente sistema para recolher produto residual |
| | - | Não existe isolamento residual |
| **Desempenho Tecnológico** | | |
| **Quantidade e qualidade** | + | Quantidade e qualidade estável (quebra <10%) desde o período de instalação inicial até ao período de manutenção |
| | +/- | Quantidade estável (quebra <10%) mas a qualidade diminui (<25%) desde o período de instalação inicial até ao período de manutenção |
| | - | Qualidade e quantidade diminuem ao longo do tempo (>25%) |
| **Interrupção do tratamento** | ++ | Sistema pode ser interrompido a qualquer momento sem comprometer a quantidade e a qualidade da água do SBCTA |
| | + | Sistema pode ser interrompido a qualquer momento mas é necessário procedimentos de operação e manutenção para não comprometer a qualidade e a qualidade da água do SBCTA |
| | +/- | Sistema pode ser interrompido a qualquer momento será comprometido a qualidade e a qualidade da água do SBCTA |
| | - | Sistema que funciona continuamente sem paragens entre ciclos de tratamento |
| **Caraterísticas standart** | ++ | Não é necessário licença e existem apoios do produtor/ONGs/governo |
| | + | Licença é dada gratuitamente pelo inventor/produtor |
| | +/- | Marca registada |
| | - | Não existe possibilidade de produção local |
| **Resistência** | ++ | Não existem partes amovíveis, quase não existe risco de rutura mesmo em condições ambientais extremas (reparável) |
| | + | Existem partes amovíveis, risco de rutura mesmo em condições ambientais extremas (reparável) |

Tabela 8.20. Classificação e caraterização dos critérios de avaliação (continuação)

| Critérios | *Class.* | Caraterização |
|---|---|---|
| **Desempenho Tecnológico** | | |
| **Resistência** | +/- | Existem partes amovíveis, risco de rutura mesmo em condições ambientais extremas (necessidade de substituição) |
| | - | Possibilidade de rutura com substituição total do SBCTA |
| **Segurança** | ++ | Não existe utilização de químicos perigosos |
| | + | Não existe utilização de químicos perigosos e é disponibilizado para o utilizador um guia de segurança |
| | +/- | Existe utilização de químicos perigosos e é disponibilizado para o utilizador um guia de segurança |
| | - | Existe utilização de químicos perigosos e não é disponibilizado para o utilizador um guia de segurança |
| **Monitorização** | ++ | Indicador integrado no sistema que notifica o utilizador automaticamente |
| | + | Notificação manual disponibilizada pelo fabricante, nomeadamente tempo de vida do produto ou período de manutenção |
| | +/- | Verificação da qualidade periódica por entidades envolvidas no projeto (nomeadamente ONG/governo) |
| | - | Não existe sistema de notificação |
| **Fiabilidade** | ++ | SBCTA foi aplicado e testado em várias comunidades/casos com resultados satisfatórios, feitos por ONG/instituições independentes |
| | + | SBCTA foi aplicado e testado em várias comunidades/casos com resultados satisfatórios, feitas pelo produtor |
| | +/- | Certificações ou resultados de testes laboratoriais, informação dada pelo produtor |
| | - | SBCTA ainda se encontra na fase de desenvolvimento |
| **Comunidade** | | |
| **Operação e manutenção** | ++ | Operação e manutenção é facilmente entendida pelo utilizador com a ajuda de manuais disponibilizados para este efeito |
| | + | Manuais são disponibilizados mas é necessário que o consumidor seja treinado para conseguir proceder à operação e manutenção do produto |
| | +/- | Necessários técnicos locais especialmente treinados com ou sem o suporte de ONG, ou do governo ou do fabricante |
| | - | Pessoas treinadas/especializadas ou especialistas fora da comunidade |
| **Disponibilidade de materiais para reparação/substituição** | ++ | Partes amovíveis podem ser encontradas a nível local e em qualquer altura |
| | + | Partes amovíveis podem ser obtidas pelo produtor regional/nacional |

Tabela 8.20. Classificação e caraterização dos critérios de avaliação (continuação)

| **Critérios** | ***Class.*** | **Caraterização** |
|---|---|---|
| **Comunidade** | | |
| **Disponibilidade de materiais para reparação/substituição** | +/- | Partes amovíveis são importadas com um sistema de distribuição estabelecido parcial ou totalmente |
| | - | Não existe sistema de distribuição estabelecido |
| **Benefícios sociais para o utilizador** | ++ | Aumento da saúde do utilizador, criação de emprego e fonte de atração |
| | + | Aumento da saúde do utilizador e criação de emprego |
| | +/- | Aumento da saúde do utilizador |
| | - | Não existe benefício significativo |
| **Frequência de operação e manutenção** | | A atribuição da cotação relativa a este critério é feita tendo em conta o gráfico seguinte. O eixo das abcissas corresponde à frequência de operação e o eixo das ordenadas à duração de operação. A zona sombreada a cinzento tem também a atribuição de cotação negativa (-). |

*FONTE: Adaptado de Wacka (2009)*

Tabela 8.21 Pontuação e peso associados à classificação de cada critério de avaliação.

| **Peso** | ***Class.*** | ***Pont.*** |
|---|---|---|
| **10%** | ++ | 7,5 |
| | + | 5 |
| | +/- | 2,5 |
| | - | -2,5 |
| | X | 0 |
| **7%** | ++ | 5,25 |
| | + | 3,5 |
| | +/- | 1,75 |
| | - | -1,75 |
| | X | 0 |

Tabela 8.21 Pontuação e peso associados à classificação de cada critério de avaliação (continuação)

| Peso | Class. | Pontuação |
|---|---|---|
| 4% | ++ | 3 |
| | + | 2 |
| | +/- | 1 |
| | - | -1 |
| | X | 0 |

*FONTE: Adaptado de Wacka (2009)*

A classificação e pontuação de cada critério de avaliação aos SBCTA, que permitem a destruição/inativação dos agentes patogénicos, são atribuídas na tabela 8.22.

Tabela 8.22 Atribuição da classificação e pontuação de cada critério de avaliação aos SBCTA que permitem a destruição/inativação dos agentes patogénicos

| **Critério** | **Peso** | **WaterGuard®** | | **Aquatabs®** | | **PTC** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ***Class.*** | ***Pont.*** | ***Class.*** | ***Pont.*** | ***Class.*** | ***Pont.*** |
| **Ambiente** | | | | | | | |
| **Dependência química ou energética** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 |
| **Produto residual** | 4% | ++ | 3 | ++ | 3 | ++ | 3 |
| **Desempenho Tecnológico** | | | | | | | |
| **Quantidade e qualidade** | 10% | +[38] | 5 | +[38] | 5 | X | 0 |
| **Interrupção do tratamento** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2.5 | +/- | 2,5 |
| **Caraterísticas *standart*** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | X | 0 |
| **Resistência** | 7% | / | 0 | / | 0 | +/- | 1,75 |
| **Segurança** | 7% | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 | ++ | 5,25 |
| **Monitorização** | 7% | + | 3,5 | + | 3,5 | ++ | 5,25 |
| **Fiabilidade** | 4% | ++ | 3 | ++ | 3 | +/- | 3 |
| **Comunidade** | | | | | | | |
| **Operação e manutenção** | 10% | ++ | 7,5 | ++ | 7,5 | X | 0 |
| **Disponibilidade de materiais para reparação/substituição** | 10% | +[39] | 5 | +/-[39] | 2,5 | + | 5 |
| **Benefícios sociais para o utilizador** | 7% | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 |
| **Frequência de operação e manutenção** | 4% | +/- | 1 | +/- | 1 | - | -1 |
| **PONTUAÇÃO TOTAL** | 100% | | **139** | | **137** | | **130** |

[38] A manutenção neste caso é entendida como a substituição do produto
[39] Partes amovíveis neste caso são entendidas como a substituição do produto

A classificação e pontuação de cada critério de avaliação aos SBCTA, que permitem a remoção de turvação, são atribuídas na tabela 8.23.

Tabela 8.23 Atribuição da classificação e pontuação de cada critério de avaliação aos SBCTA que permitem a remoção de turvação.

| **Critério** | **Peso** | **Filtron®** | | **Hydraid®** | | **Lifestraw family®** | | **Stefani®** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ***Class*** | ***Pont*** | ***Class.*** | ***Pont*** | ***Class.*** | ***Pont*** | ***Class.*** | ***Pont*** |
| **Ambiente** | | | | | | | | | |
| **Dependência química ou energética** | 10% | + | 5 | ++ | 7,5 | ++ | 7,5 | ++ | 7,5 |
| **Produto residual** | 4% | + | 2 | + | 2 | + | 2 | + | 2 |
| **Desempenho Tecnológico** | | | | | | | | | |
| **Quantidade e qualidade** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 |
| **Interrupção do tratamento** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 |
| **Caraterísticas *standart*** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 |
| **Resistência** | 7% | +/- | 1,75 | ++ | 5,25 | X | 0 | +/- | 1,75 |
| **Segurança** | 7% | + | 3,5 | + | 3,5 | + | 3,5 | + | 3,5 |
| **Monitorização** | 7% | + | 3,5 | + | 3,5 | + | 3,5 | + | 3,5 |
| **Fiabilidade** | 4% | ++ | 3 | ++ | 3 | +/- | 1 | ++ | 3 |
| **Comunidade** | | | | | | | | | |
| **Operação e manutenção** | 10% | + | 5 | + | 5 | + | 5 | + | 5 |
| **Disponibilidade de materiais para reparação/substituição** | 10% | + | 5 | + | 5 | +/- | 2,5 | + | 5 |
| **Benefícios sociais para o utilizador** | 7% | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 |
| **Frequência de operação e manutenção** | 4% | - | -1 | - | -1 | - | -1 | - | -1 |
| **PONTUAÇÃO TOTAL** | 100% | | **137** | | **143** | | **138** | | **140** |

A classificação e pontuação de cada critério de avaliação aos SBCTA, que permitem a remoção do teor de arsénio são atribuídas na tabela 8.24.

Tabela 8.24 Atribuição da classificação e pontuação de cada critério de avaliação aos SBCTA que permitem a remoção do teor de arsénio.

| Critério | Peso | Kanchan® | | PUR® | | IOSI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Class. | Pont | Class. | Pont. | Class. | Pont. |
| **Ambiente** | | | | | | | |
| **Dependência química ou energética** | 10% | + | 5 | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 |
| **Produto residual** | 4% | +/- | 1 | +/- | 1 | +/- | 1 |
| **Desempenho Tecnológico** | | | | | | | |
| **Quantidade e qualidade** | 10% | +/- | 2,5 | +[38] | 5 | +? | 5 |
| **Interrupção do tratamento** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | 2,5 | + | 5 |
| **Caraterísticas standart** | 10% | +/- | 2,5 | +/- | -2,5 | X | 0 |
| **Resistência** | 7% | + | 3,5 | ++ | 5,25 | - | -1,75 |
| **Segurança** | 7% | + | 3,5 | +/- | 1,75 | ++ | 5,25 |
| **Monitorização** | 7% | + | 3,5 | + | 3,5 | +/- | 1,75 |
| **Fiabilidade** | 4% | ++ | 3 | ++ | 3 | X | 0 |
| **Comunidade** | | | | | | | |
| **Operação e manutenção** | 10% | + | 5 | + | 5 | +/- | 2,5 |
| **Disponibilidade de materiais para reparação/substituição** | 10% | ++ | 7,5 | +/-[39] | 2,5 | - | -2,5 |
| **Benefícios sociais para o utilizador** | 7% | +/- | 1,75 | +/- | 1,75 | ++ | 5,25 |
| **Frequência de operação e manutenção** | 4% | - | -1 | - | -1 | - | -1 |
| **PONTUAÇÃO TOTAL** | 100% | | **140** | | **130** | | **123** |

A partir da tabela 8.22, 8.23 e 8.24 conclui-se que os produtos com maior pontuação são o agente desinfetante Waterguard®, o biofiltro lento de areia Hydraid® e o biofiltro lento de areia Kanchan®.

# 9. CENÁRIOS

Para cada origem de água bruta (estudo de caso A, B e C), foram considerados quatro tipologias (cenários) possíveis em termos económicos e energéticos, aos quais se associam diferentes SBCTA para que, posteriormente com a caracterização social e económica da população de cada caso analisado, seja apresentada a solução que mais se adeque à situação.

## 9.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS

**Cenário 1 ($C_1$)**

O primeiro cenário diz respeito a SBCTA destinados a populações que, apesar de pouco poder económico, possuem rendimento mensal e, como tal, têm capacidade para suportar parte dos custos associados à implementação destes sistemas. Contudo, visto que estamos a tratar de aglomerados populacionais com pouco poder económico, serão criadas soluções que se adaptem ao rendimento da população em causa e que ao mesmo tempo seja sustentável para o bom funcionamento do sistema de tratamento escolhido.

Relativamente ao aspeto energético, os sistemas de tratamento aqui aplicados carecem de energia para poderem operar. Mais uma vez tratando-se de SBCTA e com uma população alvo de pouco poder económico, a energia utilizada será “energia verde”, ou seja, através de energias renováveis que, neste caso seria a energia solar.

**Cenário 2 ($C_2$)**

O segundo cenário diz respeito a soluções que se destinam a um aglomerado populacional que não apresenta qualquer tipo de rendimento monetário e, como tal, não lhes é possível pagar qualquer custo associado à implementação dos SBCTA. Contudo, sendo que o acesso à água é um direito humano, a amortização dos custos é da responsabilidade de ONG/instituições/empresas/governo.

Para o caso do funcionamento energético, os SBCTA aqui aplicados seguem a mesma lógica que o $C_1$.

**Cenário 3 ($C_3$)**

Relativamente ao terceiro cenário, serão apresentadas soluções de tratamento com a mesma lógica económica do $C_1$, ou seja, através da aplicação de taxas que se adequem ao rendimento da população afetada, pois são direcionadas a uma população que apesar de possuir pouco poder económico, recebe um rendimento médio mensal que possibilita o pagamento de uma parte do custo necessário para a implementação dos SBCTA.

No caso da vertente energética, SBCTA não necessitam de energia para funcionarem.

**Cenário 4 ($C_4$)**

O último cenário apresenta soluções de tratamento com o mesmo alvo populacional que o $C_2$, ou seja, com populações sem qualquer tipo de rendimento e, consequentemente sem poder económico para financiar qualquer tipo de tratamento. A estratégia de amortização dos custos associados ao financiamento destes sistemas é a mesma que o cenário $C_2$.

E, tal como o caso anterior, os SBCTA não necessitam de fonte energética para funcionarem.

A Tabela 9.1 atribui positiva ou negativamente a atribuição de rendimento e em termos energéticos a cada um dos cenários referidos anteriormente.

Tabela 9.1 Associação qualitativa da situação económica e de rendimento para o cenário $C_1$, $C_2$, $C_3$ e $C_4$.

| CENÁRIO | RENDIMENTO | ENERGIA |
|---|---|---|
| **$C_1$** | ✓ | ✓ |
| **$C_2$** | x | ✓ |
| **$C_3$** | ✓ | x |
| **$C_4$** | x | x |

## 9.2. ASSOCIAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CADA CENÁRIO APLICADO A CADA ESTUDO DE CASO

Tendo como referência os sistemas de tratamento associados a cada estudo de caso (figura 7.1) e as soluções de tratamento selecionadas como sendo de baixo custo (tabela 8.15, 8.16, 8.17 e 8.19), apresentam-se na figura 9.1, as soluções de tratamento propostas para cada caso, tendo em consideração os diferentes cenários económico-energéticos ($C_1$, $C_2$, $C_3$ e $C_4$).
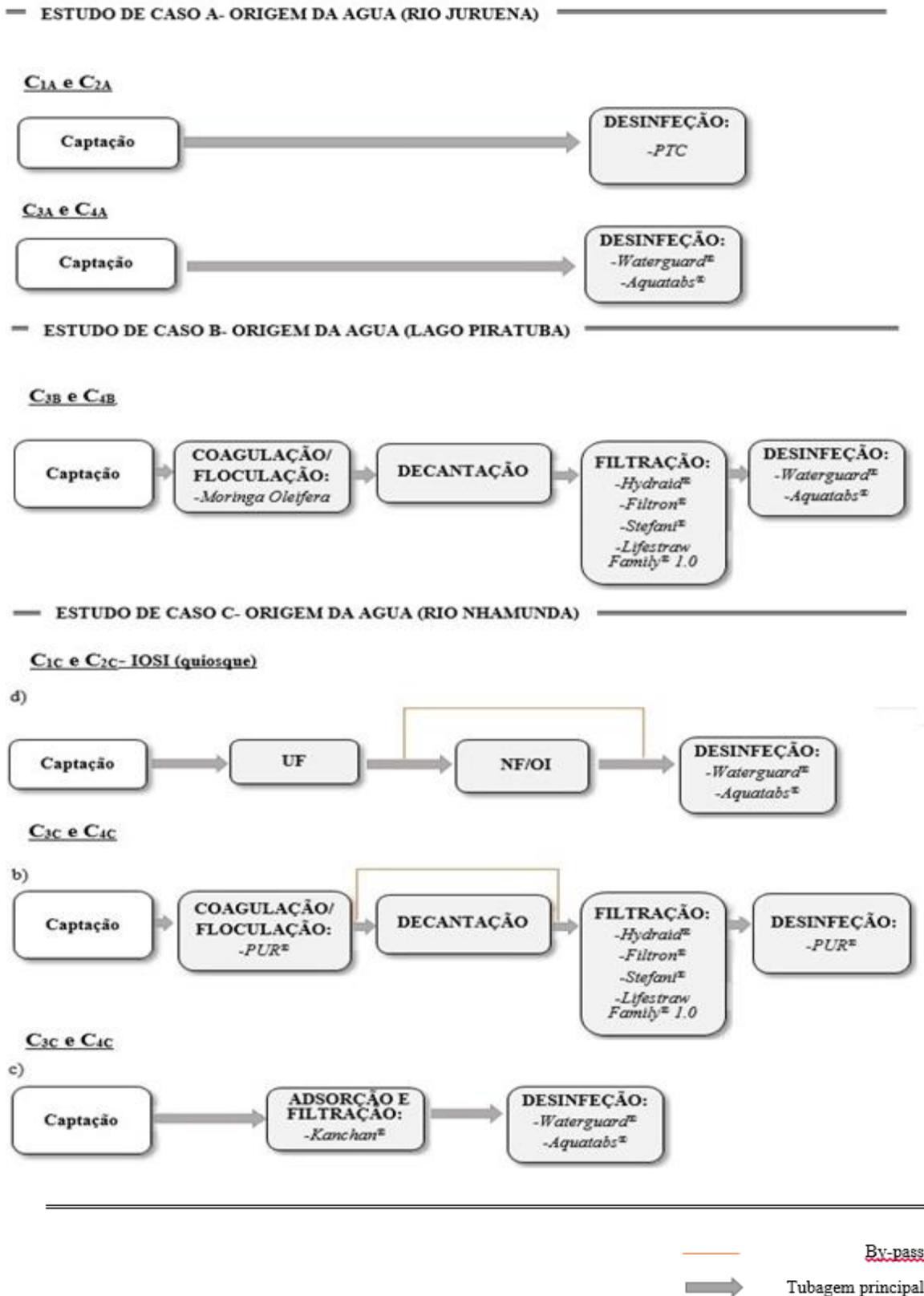
Figura 9.1 Associação das sequências de tratamento possíveis de implementação aos cenários dos três estudos de caso.

## 9.3. SELEÇÃO E DISCUSSÃO DO CENÁRIO ESCOLHIDO PARA CADA ESTUDO DE CASO

Tendo em consideração as pontuações totais obtidas nas tabelas 8.22, 8.23 e 8.24 para os SBCTA, a caraterização socioeconómica e do serviço de abastecimento de água dos locais de estudo (capitulo 7.2) e a qualidade da água nas origens de água a captar, foram selecionados os cenários económico-energéticos e o sistema de tratamento de água mais vantajoso e adequado para cada estudo de caso (estudo de caso A, B e C).

A população a ser servida no município de Campos de Júlio (estudo de caso A) é de 1 014 habitantes, não possuindo esta qualquer rendimento mensal e, como tal, os custos associados ao programa de implementação do SBCTA não serão suportados pela comunidade. Assim, o cenário mais adequado para este caso corresponde ao cenário $C_{4A}$. O cenário $C_{4A}$ inclui a etapa de desinfeção que através da utilização do produto Waterguard® (agente desinfetante com maior pontuação total), permite garantir a destruição/inativação dos microrganismos patogénicos presentes na água, deixando um teor de cloro residual livre que evita a recontaminação da água. A operação de desinfeção e armazenamento da água tratada são feitas no mesmo recipiente.

Relativamente a Pracuúba (estudo de caso B), dos 2 945 habitantes de Pracuúba sem acesso ao serviço de abastecimento de água, 1 517 não possuem meios económicos para suportar os custos provenientes do programa de implementação do SBCTA. Os restantes 1 428 habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água possuem rendimento mensal, o que permite suportarem parte dos custos do programa com o pagamento de taxas, a definir, e que, ao mesmo tempo, consigam também cobrir parte dos custos associados à população que não possui qualquer rendimento económico. A estratégia de amortização dos custos bem como da atribuição diferenciada das taxas a aplicar é descrita com maior detalhe no capítulo seguinte.

Tendo em conta a situação económica, os parâmetros de qualidade da água a tratar no Lago Piratuba e os cenários possíveis para este caso, conclui-se que o cenário mais apropriado é o cenário $C_{3B}$. Este cenário é constituído por uma etapa inicial de coagulação/floculação, que utiliza a planta de *Moringa Oleifera* como agente coagulante, seguida da operação de decantação que permite a separação sólido-liquido. A etapa de decantação pode ser materializada num recipiente devidamente limpo onde decorre a separação sólido-liquido, após o processo de coagulação/floculação. Posteriormente a água é filtrada com o biofiltro lento de areia Hydraid® (filtro destinado à remoção de turvação com maior pontuação), com o objetivo de remover as partículas que permanecem em suspensão. Após a filtração, a água filtrada é transferida para um recipiente onde é adicionado o agente desinfetante Waterguard® que, tal como foi referido anteriormente, além de destruir/inativar os coliformes totais, deixa um teor de cloro residual livre evitando a recontaminação da água.

No caso da população de Faro (estudo de caso C), a totalidade dos 3 073 habitantes não tem acesso ao serviço de abastecimento de água e não possui rendimento económico mensal e, tal como a comunidade de Campos de Júlio (estudo de caso A), os custos associados ao programa de implementação do SBCTA não poderão ser suportados pela população de Faro. O cenário escolhido foi o cenário $C_{4Cc}$, composto por uma etapa de filtração que, utilizando o biofiltro de areia lento Kanchan® (filtro destinado à remoção do teor de arsénio com maior pontuação), permite a remoção do teor de arsénio presente na água. Este filtro permite também a remoção das partículas suspensas presentes na água, caso a qualidade da água se altere e aumentem os valores de turvação para níveis acima dos VMP. Tal como nos casos anteriores, a etapa final corresponde ao processo de desinfeção que permite a destruição/inativação os agentes patogénicos e evita a recontaminação da água tratada. A desinfeção e o posterior armazenamento da água tratada pode ser igualmente materializada num recipiente devidamente limpo e protegido do contato direto com o meio envolvente.

Na tabela 9.2, encontra-se sumarizada a informação relativa ao aglomerado domiciliar a servir, ao volume de água necessário para uso direto em cada residência e os custos aproximados de cada produto no mercado, para casa estudo de caso. A informação relativa ao número de domicílios é crucial pois, para todos os produtos selecionados, cada unidade deste tem a capacidade para tratar o volume de água suficiente para abastecer uma residência.

Tabela 9.2 Situação socioeconómica, capacidade e informação dos SBCTA selecionados para cada estudo de caso

| | | ESTUDO DE CASO A | ESTUDO DE CASO B | ESTUDO DE CASO C |
|---|---|---|---|---|
| **SITUAÇÃO ECONÓMICA** | **Habitantes a servir sem rendimento (u.n)** | 1014 | 1517 | 3073 |
| | **Habitantes com rendimento (u.n)** | 0 | 1428 | 0 |
| | **Habitantes por domicílio (u.n)** | 4 | 4 | 4 |
| | **Domicílios a servir (u.n)** | 314 | 737 | 769 |
| | **Domicílios sem rendimento (u.n)** | 314 | 380 | 769 |
| | **Domicílios com rendimento (u.n)** | 0 | 357 | 0 |
| **CAPACIDADE** | **Capitação individual diária (l/hab.dia)** | 5 | 5 | 5 |
| | **Caudal diário total populacional (l/dia)** | 5070 | 14725 | 15365 |
| | **Capitação por domicílio diária (l/domicilio.dia)** | 20 | 20 | 20 |
| | **Capacidade diária total domiciliar (l/dia)** | 5070 | 14725 | 15365 |
| **Waterguard®** | **Unidades por domicílio (u.n)** | 1 | 1 | 1 |
| | **Volume diário produzido por unidade (l/dia)** | 20 | 20 | 20 |
| | **Frequência da utilização** | Diária | Diária | Diária |
| | **Custo unitário (euros/m$^3$)** | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| | **Custo total por domicílio diário (euros/dia)** | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | **Custo total por pessoa diário (euros/dia)** | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| | **Custo total por pessoa mensal (euros/mês)** | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| | **Custo total por pessoa anual (euros/ano)** | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| | **Unidades totais necessárias mensalmente[40] (u.n)** | 314 | 737 | 769 |
| | **Custo total de stock dos produtos[41] (euros/ano)** | 1243 | 2919 | 3045 |

[40] As unidades necessárias são baseiam-se no numero de domicílios à abastecer, tendo em conta que o volume diário produzido é o equivale ao volume diário necessário para abastecer uma residência;

[41] Apesar da utilização do produto ter a duração de um mês o custo total dos produtos foi associado a um ano pois, no caso de ser necessário capital para produção do *stock*, é mais seguro e prático ter o horizonte para um ano.

Tabela 9.2 Situação socioeconómica, capacidade e informação dos SBCTA selecionados para cada estudo de caso (continuação)

| | | ESTUDO DE CASO A | ESTUDO DE CASO B | ESTUDO DE CASO C |
|---|---|---|---|---|
| **Hydraid®** | **Unidades por domicílio (u.n)** | | 1 | |
| | **Volume diário produzido por unidade (L/dia)** | | 20 | |
| | **Frequência da utilização** | | Diária | |
| | **Custo unitário (euros/m$^3$)** | | 0,8 | |
| | **Custo total por domicílio diário (euros/dia)** | | 0,01 | |
| | **Custo total por pessoa diário (euros/dia)** | | 0,0025 | |
| | **Custo total por pessoa mensal (euros/mês)** | | 0,075 | |
| | **Custo para o tempo de vida do produto por pessoa (euros)** | | 14 | |
| | **Unidades totais necessárias[40] (u.n)** | | 737 | |
| | **Custo total dos produtos (euros)** | | 40 130 | |
| **Kanchan®** | **Unidades por domicílio (u.n)** | | | 1 |
| | **Volume diário produzido por unidade (L/dia)** | | | 20 |
| | **Frequência da utilização** | | | Diária |
| | **Custo unitário (euros/m$^3$)** | | | 0,5 |
| | **Custo total por domicílio diário (euros/dia)** | | | 0,01 |
| | **Custo total por pessoa diário (euros/dia)** | | | 0,002 |
| | **Custo total por pessoa mensal (euros/mês)** | | | 0,6 |
| | **Custo para o tempo de vida do produto por pessoa (euros)** | | | 9 |
| | **Unidades totais necessárias[40] (u.n)** | | | 769 |
| | **Custo total dos produtos (euros)** | | | 28 068 |
| **CUSTO UNITÁRIO TOTAL (euros/m$^3$)** | | **0,55** | **1,30** | **1,55** |

# 10. PROPOSTAS ESTRATÉGICAS PARA SIMULAÇÃO DOS PROJETOS PILOTO

O uso de tecnologias de tratamento de água tornam-se mais eficientes se forem suportados e devidamente acompanhados por incentivos económicos, a que a implementação destes sistemas se encontra sujeita. Para além de uma eficiente gestão económica, torna-se necessária a aplicação de programas educacionais, através da participação da comunidade, para que exista aceitação social e se verifique a sustentabilidade da implementação do sistema de tratamento. Quando uma das componentes económicas, comportamentais e socioculturais falham o sucesso de um programa de implementação de tecnologias de tratamento de água dificilmente tem sucesso (Sobsey, 2002).

Neste trabalho, são apresentadas algumas propostas estratégicas para a simulação de um projeto piloto dos SBCTA para cada um dos três estudos de caso. O projeto piloto é um programa experimental que, utilizando uma amostra populacional e um intervalo de tempo relativamente curto, serve de estudo para um posterior projeto de implementação para o total da comunidade. No caso de serem implementados, futuramente, os projetos piloto *in situ* e, não sendo possível ser feito o estudo de campo desse projeto, as propostas são simulações que devem ser previamente analisadas quanto à sua viabilidade.

As fases do projeto são constituídas pelas fases de produção, distribuição, monitorização, captação e transporte, marketing social e campanha educacional. No caso dos filtros escolhidos, é adicionada uma fase de manutenção. A fase de produção diz respeito, naturalmente, à própria fabricação do produto. A etapa de distribuição representa o transporte dos produtos desde o local de produção até ao local onde serão recolhidos pelo consumidor final. A campanha educacional baseia-se em programas didáticos e interativos com a comunidade local, com o intuito de alertar para a importância da água tratada na saúde humana. Nesta fase, são também dadas as instruções de operação do produto. A etapa de marketing social difere da anterior pois, neste caso, o objetivo é promover o produto. A etapa de monitorização diz respeito à recolha e análise de dados para que seja controlada e analisada tanto a eficiência do produto, como a evolução deste ao longo do período do projeto. Finalmente, a fase de captação e transporte descreve a captação e transporte da água bruta desde a sua fonte até ao reservatório localizado no município. Para os projetos dos estudos de caso de Pracuúba e Faro, existe uma fase de manutenção que, tal como o nome indica, retrata a operação de manutenção dos filtros.

As propostas passam por soluções qualitativas tendo em vista a amortização dos custos associados a cada uma das fases, bem como a identificação das entidades envolvidas em cada etapa.

Para o caso da simulação do projeto piloto, torna-se necessário avaliar a forma de como será feita a recuperação dos custos associados a cada fase do projeto e quais as entidades responsáveis pela operação de cada fase e pela amortização dos custos associados. É necessário analisar, segundo as

caraterísticas sociais de cada comunidade, como é que será feita a campanha social e como será promovida a marca associada a cada sistema de tratamento. Seguidamente, serão apresentadas as propostas estratégicas da simulação do projeto piloto para cada um dos três estudos de caso.

## 10.1. CAMPOS DE JÚLIO (ESTUDO DE CASO A)

### 10.1.1. Waterguard®

No caso do município de Campos de Júlio, foi escolhido a marca Waterguard® como produto de desinfeção por forma a garantir a inativação/destruição dos agentes patogénicos presentes na água. Esta marca, introduzida pela ONG Populational Service International (PSI), em países como o Quénia ou o Sudão, seria então encarregue da gestão do projeto no município de Campos de Júlio (PSI, 2014 e HYSTRA, 2010). Esta marca seria implementada na comunidade através de um programa piloto, que simularia a sua viabilidade junto da comunidade. O projeto a testar teria a duração de 1 ano e serviria 64 habitações em Campos de Júlio, o que equivale a cerca de 254 habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água e sem qualquer rendimento mensal (25% da população total com a mesma situação no município). A amortização dos custos associados à simulação estratégica do programa piloto, seria totalmente subsidiada por diversas entidades, uma vez que a população não tem meios económicos para pagar o produto.

**a) Produção**

Para a fabricação do produto, bem como os custos associados a este, seria da responsabilidade da empresa responsável pela fabricação de detergentes da marca Prodeter®, com a atribuição do ato de responsabilidade social. Segundo o Portal das empresas (2014), "a Responsabilidade Social das Empresas (SER) é a integração voluntária de preocupações sociais e ambientais nas operações quotidianas das organizações e na interação com todas as partes interessadas". Foi escolhida a empresa Prodeter®, pois esta trabalha com os mesmos produtos químicos que a marca Waterguard® (hipoclorito de sódio) e, como tal, seria responsável pela amortização dos custos através da fabricação do próprio produto.

a) **Distribuição**

No caso da distribuição desde a fábrica até ao consumidor final a responsabilidade seria da ONG PSI. A amortização dos custos de distribuição seria conseguida através de doações feitas a esta ONG.

**b) Consumidor final**

Visto que não seria feita a venda do produto ao consumidor final, mas sim a sua entrega gratuita, não existiria um intermediário comercial para venda de Waterguard®. Assim sendo, seria feita a entrega do produto através de uma banca situada num local estratégico no município pela mesma entidade que elaboraria a distribuição. O consumidor seria responsável pela operação de desinfeção, através dos conhecimentos adquiridos na campanha educacional, através do manual de instruções ilustrativo da autoria da entidade CAWST. A entidade CAWST disponibiliza programas de educação, formação e consultoria técnica (CAWST, 2014). Tal como referido anteriormente, seriam adicionados 5 ml de agente desinfetante aos 20 litros de água e esperar-se-ia 30 minutos para se poder consumir a água tratada, garantido o tempo de contato mínimo.

Para a recolha da água bruta e armazenamento da água tratada seriam utilizados recipientes com capacidade de pelo menos 20 litros onde seria colocado no próprio recipiente uma marca que associa a quantidade certa a adicionar. Estes recipientes são de barro, pois podem ser produzidos localmente pelo próprio consumidor com materiais locais e, caso sejam devidamente limpos e protegidos de contaminação exterior, em princípio não alterariam a qualidade da água tratada. Seriam disponibilizados quatro recipientes, três para recolha da água de água do reservatório e uma para armazenamento. Assim, o individuo recolheria no total 60 litros de água do reservatório, deslocando-se ao local duas vezes por semana (de três em três dias). ´

**c) Marketing Social**

Os custos associados seriam subsidiados por doações feitas à ONG PSI, responsável por esta fase do projeto. Esta ONG conduziria as atividades de marketing social, nomeadamente através de campanhas com a ajuda de meios de comunicação, nomeadamente rádios locais, e através da comunicação interpessoal. A comunicação social conseguiria aumentar a fiabilidade da marca, enquanto a comunicação interpessoal procuraria que os consumidores reconheçam a importância da marca através do uso diário desta (HYSTRA, 2011). Na parte da comunicação interpessoal a entidade PSI seria responsável por encontrar e treinar pessoas especializadas na área da saúde que trabalhariam voluntariamente, nomeadamente no Ministério da Saúde, universidades ou ONGs e que ajudariam na promoção do produto com base na necessidade deste para a saúde humana. A equipa e os voluntários seriam responsáveis pela criação de eventos periódicos para a parte da comunicação interpessoal com a comunidade.

**d) Educação**

Poderia ser desenvolvida uma campanha de comunicação, criada inicialmente pela Universidade Johns Hopkins, denominada “Autocarro Azul” (*Blue Bus*). Apesar da campanha se destinar a aumentar a preocupação relativamente à higiene, saneamento e qualidade da água, seria feita apenas uma campanha destinada à qualidade da água, visto ser o tema principal abordado neste trabalho. Seria feita

uma campanha educacional trimestral através da mobilização do "Autocarro Azul". Este veículo deslocar-se-ia de região em região para que os consumidores pudessem visitar o autocarro e aprender por experiência própria, observando os outros. Seria utilizada uma apresentação inicial por voluntários da área da saúde, treinados pela organização PSI, que se adequasse à cultura local, no intuito de dar a conhecer a importância do tratamento de água na saúde pública da população. Seria feita à posteriori a utilização de um pequeno laboratório instalado no veículo, onde as pessoas poderiam aprender a utilizar o produto e observar as diferenças entre uma água tratada com a marca Waterguard® e a água sem qualquer tipo de tratamento. Os custos para a campanha educacional seriam financiados através de doações feitas à ONG PSI, responsável pela campanha educacional. Um projeto similar, financiado por Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internatcional (USAID- *United States Agency for International Development*) e da responsabilidade de PSI, implementado na Nicarágua mostrou ter sucesso a nível educacional em cerca de 66 000 participantes (HYSTRA, 2011).

**e) Monitorização**

A recolha e análise de dados trimestral seriam da responsabilidade da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), através de protocolos de acordo entre a entidade gestora do projeto PSI e a Universidade. Assim não só seria feita a recolha de informação periódica para ser analisada a viabilidade do projeto mas também seria uma mais valia para fins didáticos para esses alunos. Visto que a universidade se localiza na cidade de Cuiabá, os custos de transporte seria financiados pela própria universidade.

**f) Transporte da água bruta até ao reservatório**

A fonte de água bruta, ao localizar-se a uma distância elevada do município, pressuporia que existisse uma rede de transportes que fizesse a ligação entre a fonte e a comunidade local. Nesse caso, um ou vários camiões cisterna captariam a água e transportá-la-iam no reservatório até ao município, o qual teria um reservatório pequeno com capacidade para 40 $m^3$, onde as pessoas recolheriam a água. Esta fase do processo seria feita semanalmente, pelo que o volume de água corresponderia à quantidade necessária para abastecer a população durante sete dias. O reservatório seria dimensionado para o total da população, pois caso o projeto piloto fosse bem sucedido não seria necessária a implementação de um novo reservatório que armazenasse volume de água a tratar para a população total.

O custo associado ao transporte seria financiado pela gasolineira Shell® como responsabilidade social. Esta empresa seria responsável pelos custos de transporte desde o meio recetor até ao reservatório localizado num ponto estratégico do município. Em contrapartida o logotipo da empresa seria colocado no veículo de transporte, como medida promocional da marca Shell®.

O diagrama representativo das fases e entidades envolvidas no projeto piloto de implementação do produto Waterguard® encontra-se representa-se na figura 10.1.
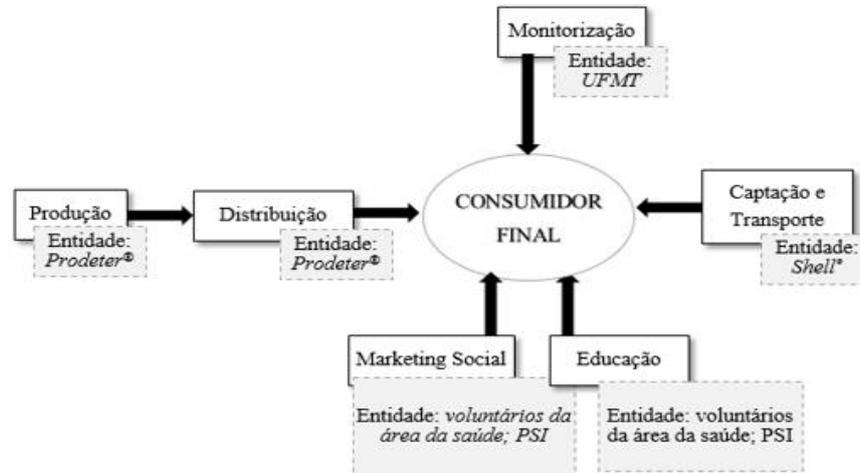
Figura 10.1 Diagrama representativo das fases e entidades envolvidas no projeto piloto de implementação de Waterguard®

## 10.2. PRACUÚBA (ESTUDO DE CASO B)

### *10.2.1.Moringa Oleifera*

As sementes da planta *Moringa Oleifera* são utilizadas para a operação de coagulação/floculação antes da filtração, sendo que o Lago Piratuba apresenta uma turvação superior a 30 NTU. Esta planta, tal como foi referido anteriormente, pode ser plantada praticamente sem intervenção humana no Brasil, inclusivamente no estado de Amapá. Antes de ser dado o início do projeto piloto, a espécie *Moringa Oleifera* seria plantada, caso seja possível, no município até se desenvolver e poderem ser retiradas as sementes. Este produto é quase ausente de custos, pois não necessita praticamente de intervenção humana. É crucial que este tipo de cultivo seja explorado de uma forma sustentável, retirando as sementes sem intervir negativamente com a sobrevivência do bioma.

No intuito de aumentar a eficiência da operação de coagulação e, tal como foi referido anteriormente, devido ao pH básico da água, deve ser adicionado sumo de lima para diminuir o pH. Este fruto pode ser encontrado localmente.

### 10.2.2.Hydraid®

No caso do município de Pracuúba, foi escolhida a marca Hydraid® como biofiltro lento de areia que permite remover turvação e destruir/inativar parcialmente os organismos patogénicos presentes na água. Esta marca patenteada pertence à empresa “Triple Quest” que é responsável pela gestão da marca. Este grupo foi formado pela empresa de investimento “WindQuest” e pela empresa “Cascade Engineering” (Hydraid BioSand Water Filter, 2014 e Cullen *et al.*, 2010). O grupo “Triple

Quest" seria responsável pela gestão do projeto piloto, que iria ter uma empresa local no município de Pracuúba.

O projeto piloto teria a duração de um ano a servir uma amostra de 184 domicílios, o equivalente a cerca de 737 habitantes (25% da população total com a mesma situação no município). Deste modo e sabendo-se que 52% da população total sem acesso ao serviço de abastecimento de água não tem rendimentos económicos mensais, resultará o seguinte: Dos 737 habitantes selecionados para a amostra, 376 não possuem rendimento médio mensal, o equivalente a 94 habitações e, por exclusão de partes, a restante amostra a servir possui rendimento mensal.

A recuperação dos custos segue uma lógica diferente dos casos anteriores, visto que uma parte da população analisada de Pracuuba possui rendimento mensal e, como tal, em princípio teria capacidades económicas para pagar parcialmente parte dos custos associados ao projeto.

Concluindo, seria feita a recuperação de custos através do pagamento parcial de taxas que seriam relacionadas com o montante do rendimento mensal de cada elemento, que tentariam também suportar parte dos encargos associados dos consumidores que não possuíssem recursos económicos para suportar o projeto.

As fases do processo estratégico do projeto são as mesmas que o caso da marca Waterguard® com a adição de uma fase de manutenção do filtro. Futuramente serão apresentadas também as propostas de solução de amortização dos custos para as várias fases.

**a) Produção**

- **Produção$_1$**

A empresa construtora "*Cascade Engineering*" seria responsável pela fabricação do recipiente de plástico do biofiltro lento de areia Hydraid®, em que a matéria-prima seria fornecida gratuitamente pela Companhia "*Dow*", assumida como ato de responsabilidade social (Hydraid BioSand Water Filter, 2014). A fábrica localiza-se nos Estados Unidos da América, logo o recipiente seria produzido internacionalmente e, posteriormente, seria importado para o país e distribuído para o município, sujeito a uma taxa de valor acrescentado (VAT- *Value Added Tax*). Esta taxa poderia ser isenta, caso a importação fosse da responsabilidade de entidades como embaixadas, o que seria neste projeto, a saber, embaixada americana.

O consumidor final seria responsável pelo pagamento de taxas mensais que pagariam parcialmente o custo do produto bem como parte da distribuição (a ser explicado posteriormente), desde o local de receção do produto na embaixada até ao armazém pertencente à empresa "*TripleQuest*". O valor da taxa mensal aplicada a cada habitante dependeria do seu rendimento mensal. A população a ser servida pelo produto seria dividida em diferentes escalões de rendimento, sendo que o valor mais elevado da taxa a aplicar seria diretamente

proporcional ao escalão de rendimentos. O valor total mensal de taxas mensais teria de ser suficiente para amortizar os custos de produção do filtro. O capital inicial necessário para os custos de produção seria fornecido pela empresa social responsável pela gestão do projeto "*TripleQuest*", mais precisamente pela empresa investidora "*WindQuest*".

- **Produção$_2$**

O meio filtrante do biofiltro de areia Hydraid® seria construído com materiais locais, podendo alguns destes ser encontrados localmente e, no caso da tubagem de recolha da água filtrada ou caso os restantes materiais não sejam encontrados, estes seriam adquiridos gratuitamente por empresas de materiais de construção locais, através do já designado estatuto de responsabilidade social. Estes materiais seriam recolhidos por membros da equipa "*TripleQuest*" num armazém local, pertencente a esta empresa.

A produção do filtro Hydraid® seria feita por membros selecionados pela ONG americana "*Pure Water for the World*" (PWW) e pelos habitantes que iriam usufruir do filtro, através da formação prestada pela mesma ONG. A ONG PWW é responsável pela instalação de filtros em residências e escolas, complementando com programas educacionais de hábitos de higiene a nível comunitário (PWW, 2014).

**b) Distribuição**

- **Distribuição$_1$**

Após a importação dos recipientes de plástico dos filtros até à embaixada dos Estados Unidos da América em Brasília, estes seriam transportados até ao armazém local da "*TripleQuest*" por uma empresa distribuidora que tivesse a mesma trajetória e que, além de transportar os seus produtos, transportaria os recipientes, em troca de uma percentagem em termos dos custos de transporte. Este montante seria suportado pela aplicação de taxas aos consumidores, já explicado anteriormente.

Após serem produzidos os filtros no armazém, estes seriam transportados diretamente para as residências e instalados devidamente. O transporte seria feito através de uma carrinha fornecida pela empresa gestora do projeto e a instalação seria da responsabilidade da ONG PWW e do próprio consumidor.

**c) Consumidor final**

Não existiria um intermediário comercial para venda de Hydraid®. Tal como foi dito anteriormente, o consumidor final e a ONG PWW são responsáveis pela produção e distribuição do próprio filtro até à residência. As instruções de utilização seriam providenciadas pela ONG CAWST. A estratégia de utilização de recipientes para recolha da água bruta do reservatório, bem como o material e a

identificação da quantidade a adicionar seguiriam as mesmas indicações que o caso do produto Waterguard®.

**d) Manutenção**

Os procedimentos para manutenção do filtro, explicados no capítulo 8, seriam da responsabilidade do consumidor, que foi devidamente formado pela entidade PWW, com o uso de um manual explicando os procedimentos, da autoria da entidade CAWST. A manutenção consiste na limpeza periódica do filtro, quando a taxa de filtração diminui e a qualidade da água filtrada se altera.

e) **Marketing Social**

Seriam requisitadas ONGs locais e voluntários ligados à área da saúde, treinados pela ONG PWW, que se encarregariam de campanhas de comunicação interpessoal com a comunidade local, no intuito de promover o produto com base na necessidade deste à saúde pública. Os voluntários ficariam responsáveis pela criação de eventos periódicos no que se refere à comunicação interpessoal com a comunidade e, com o patrocínio da marca Nestlé®, onde a empresa cobriria os custos relativos a esta fase do projeto. A empresa Nestlé® poderia ainda, se possível, patrocinar atividades de marketing social, nomeadamente através de rádios locais.

**f) Educação**

Na fase educativa, seria feita uma campanha pelas mesmas entidades que a fase anterior. A equipa treinada pela entidade PWW ensinaria as técnicas de operação, manutenção e eventuais reparações do filtro e voluntários da área da saúde e ONGs locais realçariam a importância desta etapa na eficiência do filtro e como o tratamento de água é crucial na saúde humana. A campanha educacional poderia incluir palestras, cartazes ilustrativos e peças dramáticas. Os custos de amortização da campanha educativa seriam patrocinados pela empresa Nestlé®, com a aplicação do logotipo da marca em cada filtro e nos cartazes ilustrativos.

g) **Monitorização**

A recolha e análise de dados trimestral, tal como o caso anterior, seriam da responsabilidade da Universidade Federal de Amapá (UFAP), através de protocolos de acordo entre a entidade gestora do projeto "*TripleQuest*" e a Universidade. Os custos de transporte entre a Universidade e o município seriam financiados igualmente pela Universidade.

**h) Transporte da água bruta até ao reservatório**

As estratégias de ligação entre o município e rio, bem como o armazenamento da água a tratar, seriam as mesmas que no projeto anterior, visto que a distância entre estes dois pontos é também elevada. O reservatório teria capacidade para armazenar 106 $m^3$ de água bruta, volume suficiente para

água de consumo com reabastecimento semanal. A amortização dos custos de transporte seria da responsabilidade da mesma empresa (Shell®) como responsabilidade ambiental e seria também feita a colocação do logotipo desta entidade no veículo de transporte da água bruta.

O diagrama representativo das fases e entidades envolvidas no projeto piloto de implementação do produto Hydraid® encontra-se representa-se na figura 10.2.

Figura 10.2 Diagrama representativo das fases e entidades envolvidas no projeto piloto de implementação de Hydraid®

### 10.2.3.Waterguard®

Tal como no caso de Pracuúba, a etapa de desinfeção, após ser filtrada a água com a marca Kanchan®, seguiria a mesma lógica estratégica, tanto na sequência das fases dos projetos, como na estratégia de amortização de custos. O que difere seriam os valores dos custos totais anuais das garrafas necessárias de Waterguard®.

## 10.3. FARO (ESTUDO DE CASO C)

### 10.3.1.Kanchan®

Para o município de Faro, foi escolhida a marca Kanchan® como biofiltro lento de areia que, além de remover turvação e garantir a destruição/inativação parcial dos organismos patogénicos, tem a particularidade de remover o teor de arsénio presente na água. Este filtro foi desenvolvido pela ONG nepalesa, denominada Organização Ambiental e de Saúde Publica (ENPHO- *Environment and Public*

*Health Organization*) e que seria responsável pela gestão do projeto, com sede no local (Espinoza *et al*, 2010).

Esta marca seria implementada na comunidade através de um programa piloto que simularia a viabilidade desta na comunidade. O projeto a testar teria a duração de 2 anos e servirá 192 habitações em Campos de Júlio, o que equivale a cerca de 769 habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água e sem rendimento mensal (25% da população total com a mesma situação no município).

A recuperação dos custos associados à simulação estratégica do programa piloto, seria totalmente subsidiada por entidades externas à comunidade local a abastecer, pois a população não tem meios económicos para pagar o produto. As fases do processo estratégico do projeto piloto seguem a mesma ordem e fases que o projeto piloto da marca Hydraid®. Posteriormente serão apresentadas também as propostas de solução de amortização dos custos para as várias fases.

**a) Produção**

O biofiltro lento de areia Kanchan® seria construído com materiais locais, logo poderia ser produzido ou preparado localmente num armazém providenciado gratuitamente pela câmara municipal. A ONG ENPHO criou uma plataforma denominada ”Instituto do Ambiente e Saúde Publica” (ENPHI-*Environment and Public Health Institute*) que se destina a programas de treino profissional para grupos comunitários, por forma a terem a capacidade e conhecimentos para construir tecnologias de tratamento de água desenvolvidas por este, nomeadamente o biofiltro Kanchan® (ENPHO, 2014). Assim sendo, seria selecionada uma ou vários ONGs locais que seriam treinadas por uma equipa representante da plataforma ENPHI e, com o apoio da mão-de-obra da população local que iria usufruir do filtro.

Os materiais para construção do filtro seriam encontrados localmente, ou fornecidos, como ato de responsabilidade ambiental, por várias empresas de materiais de construção. O fornecimento de cimento para construção do molde seria feito pela empresa Lafarge®, através da assunção voluntária de responsabilidade social.

**b) Distribuição**

Tendo em conta que a produção será a nível local, a distribuição seria feita pelas próprias entidades que produziram o filtro, desde o local de produção até à residência de cada consumidor. O recipiente do filtro e as restantes componentes deste, nomeadamente o meio filtrante, seriam transportados separadamente e instalados na residência, visto que o produto pesa cerca de 70 kg, tornando o transporte mais acessível (CAWST, 2009).

**c) Consumidor final**

Visto que não será feita a venda do produto ao consumidor mas sim a entrega gratuita deste, não existiria um intermediário comercial para venda de Kanchan®. A estratégia de utilização de recipientes

para recolha da água bruta do reservatório, bem como o material e a identificação da quantidade a adicionar segue as mesmas indicações que o caso dos produtos Waterguard® e Hydraid®. As instruções de utilização seriam igualmente providenciadas pela ONG CAWST.

**d) Marketing Social**

A proposta estratégica para a fase de marketing social segue a mesma lógica que no caso de Pracuúba, só que neste caso, a ONG ENPHI seria responsável por treinar os voluntários ligados à área da saúde e ONGs locais.

**e) Educação**

Na fase educativa, seria feita uma campanha pelos membros voluntários das ONGs locais que entretanto receberiam formação da parte construtiva do filtro da plataforma ENPHI e por voluntários da área da saúde do Ministério da Saúde. A equipa treinada pelo ENPHI ensinaria as técnicas de manutenção e eventuais reparações do filtro e os voluntários da área da saúde ensinariam a técnica de operação, dando enfase à importância desta etapa na eficiência do filtro e na ideia base de como o tratamento de água é crucial para a saúde humana. A campanha educacional poderia incluir palestras, cartazes ilustrativos, peças dramáticas com figuras ilustrativas que refletiriam os efeitos nocivos do arsénio na saúde humana.

Os custos de amortização da campanha educativa seriam patrocinados pela empresa Nestlé®, a qual aproveitaria para promover a sua imagem através da colocação do logotipo em cada filtro e nos cartazes ilustrativos.

**f) Monitorização**

A recolha e análise dos dados seria trimestral e da responsabilidade da equipa de ENPHO que desenvolveu equipamentos móveis que permitem testar a presença de arsénio e de coliformes totais (ENPHO, 2014).

**g) Manutenção**

Torna-se necessário, de dois em dois anos, substituir as componentes de ferro, caso contrário a eficiência do filtro pode não ser suficiente para remover o arsénio. Além da substituição do ferro é também necessário fazer a limpeza periódica do filtro. A responsabilidade, tanto pela substituição dos componentes de ferro como pela limpeza do filtro, seriam do próprio consumidor, o qual teria conhecimento dos procedimentos a seguir, graças à equipa responsável pela formação, ENPHI. Seria, paralelamente, fornecimento de um manual da autoria da entidade CAWST, contendo indicações ilustrativas dos procedimentos a ter na operação e manutenção dos filtros.

**h) Transporte da água bruta até ao reservatório**

A distância entre local de água bruta e a comunidade do município é elevada, logo a ligação entre estes dois pontos segue a mesma lógica na fase de transporte que o projeto piloto anterior, bem como o armazenamento da água num reservatório que teria neste caso 110 m$^3$. A amortização dos custos de transporte seria da autoria da empresa Shell® como responsabilidade social, em que o logotipo da gasolineira será colocado também no camião-cisterna que transporta água bruta.

O diagrama representativo das fases e entidades envolvidas no projeto piloto de implementação do produto Kanchan® encontra-se representa-se na figura 10.3.
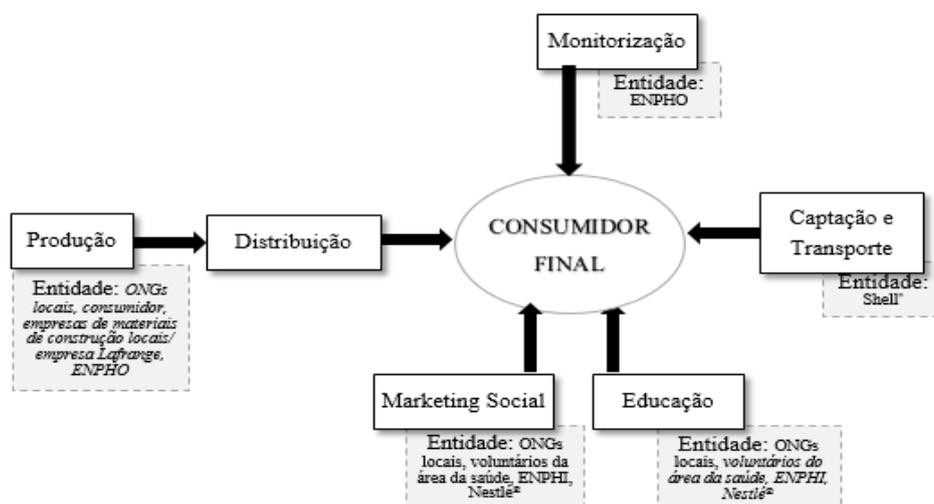
Figura 10.3 Diagrama representativo das fases e entidades envolvidas no projeto piloto de implementação de Kanchan®

## 10.3.2. Waterguard®

Após a água ser filtrada com o biofiltro de areia Kanchan®, torna-se necessária uma etapa de desinfeção para destruir/inativar os microrganismos patogénicos presentes na água. As fases estratégicas da implementação do desinfetante na comunidade de Faro são as mesmas que para o caso do município de Campos de Júlio, tanto na sequência das fases dos projetos, como na estratégia de amortização de custos. As diferenças são as mesmas que no caso de Pracuúba, apesar de que neste caso a monitorização do projeto piloto seria da responsabilidade da entidade ENPHO.

# 11. CONCLUSÕES

Apesar do acesso à água potável ser um bem essencial para garantir a saúde pública, verifica-se que as pessoas com menores capacidades económicas são as mais afetadas com esta problemática. Devido à ausência de sistemas que garantam o fornecimento de água potável, os habitantes procuram fontes alternativas para o abastecimento de água, nomeadamente rios ou lagos, cuja qualidade possa não permitir o consumo direto e, ao serem utilizadas provoquem o aparecimento de doenças relacionadas com a presença de contaminantes na água, podendo conduzir à morte. Assim sendo, torna-se necessário a procura de soluções alternativas de baixo custo que permitam garantir a qualidade mínima da água para consumo direto, com o objetivo de tentar resolver a falta de água potável para este tipo de zonas e, daí a importância do estudo deste trabalho.

Foram selecionados três locais de estudo de recolha de água bruta no Brasil, com diferentes tipologias de qualidade da água, para simular sistemas de tratamento de água que garantam a remoção dos contaminantes presentes na água, no intuito de fornecer água com qualidade mínima para consumo direto a três aglomerados populacionais.

Inicialmente, foi escolhido como estudo de caso A, o município de Campos de Júlio (estado de Mato Grosso), com um total de 1014 habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água, sendo selecionada como origem de água bruta o rio Juruena que apresenta contaminação microbiológica.

Seguidamente, foi selecionado como de estudo de caso B, o município de Pracuúba (estado de Amapá), com 2945 habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água e, como tal, foi escolhido o lago Piratuba como origem de água bruta, visto que, para além de contaminação microbiológica, encontra-se num estado hipereutrofizado e apresenta valores de turvação superiores ao VMP imposto pela legislação brasileira.

Finalmente, para o estudo de caso de caso C, foi selecionado o município de Faro (estado de Pará) e o rio Nhamundá como origem de água bruta, com o objetivo de fornecer água com qualidade mínima para consumo direto a 3073 habitantes sem acesso ao serviço de abastecimento de água. O rio Nhamundá além de contaminação microbiológica apresenta teor de arsénio superior ao VMP.

Foram apresentados sistemas de tratamento de água para cada estudo de caso, com o objetivo de garantir que a água tratada cumpra com os valores mínimos da qualidade da água para consumo direto.

No caso do rio Juruena, este apresenta valores de coliformes totais superiores ao VMP, sendo necessário o processo de desinfeção.

Relativamente ao lago Piratuba, este apresenta valores de turvação, de coliformes totais superiores aos VMP e encontra-se num estado hipereutrofizado. Assim, são essenciais as etapas de

coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfeção. A etapa de flotação não foi possível ser estudada, pois não foi encontrada informação relativa a estudos efetuados utilizando energia solar como fonte energética para o funcionamento desta operação Finalmente, o rio Nhamundá, são apresentadas várias alternativas para remoção do teor de arsénio, que ultrapassam o VMP imposto pela legislação, nomeadamente tecnologias de oxidação, coagulação e filtração gravítica ou assistida por microfiltração (substituída posteriormente por ultrafiltração), adsorção por ferro e processo de separação de membranas através da nanofiltração/osmose inversa. A etapa de oxidação não é possível de ser estudada, pois não existe informação acerca do teor de ferro dissolvido na água, fator crucial para o desenvolvimento desta fase.

Tendo em conta os processos e operações unitárias utilizados em tratamento de água para abastecimento, foram escolhidos sistemas simplificados de tratamento de água que forneçam água com qualidade mínima para consumo direto. Contudo, visto que um dos objetivos do trabalho passa pela sugestão de soluções de baixo custo, foi determinado o custo unitário de cada uma das tecnologias apresentadas, por forma a serem selecionados apenas os sistemas de tratamento de água de baixo custo. Assim, concluiu-se que os SBCTA são os produtos Waterguard®, Aquatbs®, PTC, Filtron®, Stefani®, Hydraid®, Kanchan®, Lifestraw Family®, PUR®, *Moringa Oleifera* e "Quisoque" IOSI.

Posteriormente, a análise quantitativa dos critérios de análise de cada um dos sistemas (representado nas tabelas 8.22, 8.23 e 8.24), mostrou que o SBCTA mais adequado seria o filtro Hydraid® (com 143 pontos) para permitir a remoção de turvação e o filtro Kanchan® (com 140 pontos) para permitir a remoção do teor de arsénio. O SBCTA com maior pontuação para a etapa de desinfeção foi o produto Waterguard® (com 139 pontos) para permitir a destruição/inativação os agentes patogénicos.

Após a seleção do SBCTA mais adequado para cada um dos três estudos de caso, foram criados cenários de natureza económico-energética, com o objetivo de enquadrar o SBCTA ao contexto económico da população a ser abastecida e à disponibilidade energética em cada um dos casos. Foram escolhidos quatro cenários, em que o primeiro e o segundo cenário ($C_1$, $C_2$) incluem SBCTA que necessitam de energia solar para funcionarem, contrariamente ao terceiro e quarto cenário $C_3$ e $C_4$. Já o $C_2$ e $C_4$ inclui SBCTA que se destinam a servir comunidades que não têm capacidades económicas para cobrir os custos envolvidos na implementação e funcionamento destes sistemas. Relativamente ao contexto económico dos cenários $C_1$ e $C_3$ disponibiliza SBCTA destinados a comunidades em que parte ou o total da população possui rendimento mensal para pagar pelo menos parte dos custos necessários para a implementação e funcionamento dos sistemas.

Tendo em conta a situação socioeconómica das populações sem acesso ao serviço de abastecimento de Campos de Júlio, Pracuúba e Faro, mostraram que o cenário mais adequado seria o cenário $C_{4A}$, $C_{3B}$ e $C_{4Cc}$, respetivamente.

As principais limitações devem-se ao facto de não ter sido possível fazer a recolha de dados da qualidade da água *in situ* dos três estudos de caso e, como tal, os dados recolhidos basearam-se em análises recolhidas em 2004. É possível que, em 10 anos, a qualidade da água se altere, podendo resultar em valores dos parâmetros físico-quimicos e microbiológicos diferentes e, consequentemente, em soluções de sistemas de tratamento de água diferentes.

No caso da avaliação do tratamento convencional (Quiosque), a impossibilidade de ser feito o seu orçamento limitou o cálculo do custo unitário e, como tal, não foi possível a análise comparativa direta com custo máximo estipulado (7,26euros/$m^3$) para a seleção dos SBCTA.

Outra limitação reside no facto de não ter sido possível fazer o estudo em campo das melhores opções relativamente etapas constituintes dos três projetos piloto de implementação dos SBCTA, bem como a própria comunicação com as entidades envolventes nos projetos. Assim, este trabalho limitou-se a propostas estratégicas de simulação, tendo como referência projetos implementados noutros locais.

# 12. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em futuros trabalhos, no caso do sistema de tratamento convencional, sugere-se que seja escolhido para a determinação do custo unitário, o período de funcionamento de seis horas. Tal como foi referido anteriormente, períodos inferiores a seis horas são inviáveis para o funcionamento do sistema e o volume dos órgãos correspondente ao período de oito horas são menores, resultando um custo unitário inferior. Assim, entre o período de funcionamento de seis e oito horas, seria escolhido aquele que resulta num custo unitário superior, pois caso este seja viável economicamente, sabe-se que em princípio o dimensionamento do sistema de tratamento convencional para o período de funcionamento de oito horas será também viável.

Tendo em conta as principais limitações do trabalho sugere-se que sejam recolhidos dados da qualidade da água *in situ,* no intuito de verificar quaisquer alterações da qualidade da água. Caso a qualidade da água não tenha sofrido alterações, sugere-se que seja feito a análise detalhada *in situ* da viabilidade do projeto, relativamente às propostas estratégicas de simulação dos projetos piloto descritas no capítulo 10. Caso sejam viáveis, sugere-se que seja feita a implementação dos projetos piloto propostos para os três municípios, no intuito de ser estudada a viabilidade económica, social e tecnológica do SBCTA escolhido para cada caso. Finalmente, será uma mais valia para a saúde publica da população dos municípios de Campos de Júlio, Pracuúba e Amapá e, inclusivamente, para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

# 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Almeida, G. (20012a). *Decantação*. Abastecimento e Tratamento de Água. Monte da Caparica: FCT (UNL)

Almeida, G. (20012b). *Filtração*. Abastecimento e Tratamento de Água. Monte da Caparica: FCT (UNL)

Almeida, G. (2012). *Coagulação/floculação*. Abastecimento e Tratamento de Água. Monte da Caparica: FCT (UNL)

Almeida, G. (2012c). *Filtração e Desinfecção*. Sistemas Avançados de Tratamento de Água. Monte da Caparica: FCT (UNL)

Almeida, G. (2013). *Separação por membranas*. Sistemas Avançados de Tratamento de Água. Monte da Caparica: FCT (UNL)

Almeida, G. (2013a). *Adsorção*. Sistemas Avançados de Tratamento de Água. Monte da Caparica: FCT (UNL)

ANA (2013). *Conjuntura dos Recursos Hidricos no Brasil: 2013.* Brasilia: Agência Nacional de Águas.

Baffrey, R. (2005).*Development of program implementation, evalutation, and selection tools for household water treatment and safe storage systems in development countries*. (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, pp 18-47

Barros, F. G. N.; Amin, M. M. (2007). *Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*. Vol.*4* (1), pp. 265-299. Acedido em 4 Fevereiro de 2014 [disponível em: http://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/viewArticle/116]

Barstow, C. K. (2010*). Development of an ultraviolet point-of-use device for household water disinfection.* (Tese de Mestrado). University of Colorado, USA, pp 1-9

Bigoni, R.; Kotzsch, S.; Sorlini, S.; Egli, T. (2013).*Solar water disinfection by a Parabolic Trough Concentrator (PTC): flow-cytometric analysis of bacterial inactivation*. Journal of Cleaner Production. Vol 67. Pp 62-71. Acedido em 7 Fevereiro de 2014 [disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008688]

Boisson, S.; C., T. (2006). *Household-Based Ceramic Water Filters for the Treatment of Drinking Water in Disaster Response: An Assessment of a Pilot Programme in the Dominican Republic.* Water Practice & Technology. Vol.1 (2). Acedido em 12 Maio de 2014 [disponível em: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CLASEN%20and%20BOISSON%20 2006%20Household-Based%20Ceramic%20Water%20Filter%20for%20the%20Treatment%20of%20Drinking%20Water %20in%20Disaster%20Response.pdf]

Brasil das Águas (2014). *Brasil das Águas- revelando o azul do verde e o amarelo*. Acedido em 12 Janeiro de 2014. [disponível em: http://brasildasaguas.com.br]


Brasil das Águas (2014). *Brasil das Águas- revelando o azul do verde e o amarelo*. Acedido em 12 Janeiro de 2014. [disponível em: http://brasildasaguas.com.br]


Carvalho *et al.*, P. de; Riffel, D.; Freire, C. e Montenegro, F. (2004). *The Brazilian experience with a photovoltaic powered reverse osmosis plant*. Progress in Photovoltaics: Research and Apllications. Vol.12 (5). Pp.373-385. Acedido em 20 Março de 2014 [disponível em: http://dx.doi.org/10.1002/pip.543]

CAWST (2009). *Education & Training resources*. Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. Acedido em 3 Março [disponível em: http://resources.cawst.org/topic/household-water-treatment-and-safe-storage]

CDC (2005). *Social Marketing Campain*. Centre for Disease Control and Prevention. Acedido em 27 de Abril de 2014. [disponível em: http://www.cdc.gov/safewater/where_pages/where_malawi.htm]

CDC (nd). *Safe Water Systems for the Developing World: A Handbook for Implementing Household-Based Water Treatment and Safe Storage Projects*. Centers for Disease Control and Prevention-Department of Health & Human Services. Acedido em 4 de Abril de 2014 [disponível em: www.cdc.gov/safewater/manual/sws_manual.pdf]

Chaves, A. P. e Chieregati, A. C. (2002). *Estado-da-Arte em Tecnologia Mineral no Brasil em 2002*. Ministério da ciência, tecnologia e inovação. Acedido em 30 de Janeiro de 2014 [disponivel em mct: ftp://ftp.mct.gov.br/Biblioteca/10178%20-%20Estado%20da%20arte%20em%20tecnologia%20mineral%20no%20Brasil.pdf]

Cheremisinoff, N. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies* (1ª ed.). Boston: Butterworth-Heinemann

Clasen, T.; Saeed, T. F.; Boisson, S.; Edmondson, P. e Shipin, O. (2007). *Household water treatment using sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) tablets: a randomized, controlled trial to assess microbiological effectiveness in Bangladesh.* Am. J. Trop. Med. Hyg. Vol.76 (1), pp. 187-192. Acedido em 10 de Janeiro de 2014. [disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17255252]

Davis, M. (2010).*Water and wastewater engineering* (1ª ed.). New York: McGraw-Hill.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto de 2007. Diário da Republica nº 164- I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

Dies, R. D. (2003). *Development of a ceramic water filter for Nepal.* (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp.24

ENPHO (2014). *ENPHO: Creating Eco Societies*. Acedido em 18 de Junho de 2014. [disponível em: http://enpho.org]

EPA (2007). *Small Drinking Water Systems: State of the Industry and Treatment Technologies to Meet the Safe Drinking Water Act Requirements*. Wexford: Environmental Protection Agency

EPA. (2001). *Parameters of water quality - Interpretation and standards.* Wexford: Environmental Protection Agency

Espinoza, C. M.; O'Donnell, M. K. (2011). *Evaluation of the KanchanTM Arsenic Filter Under Various Water Quality Conditions of the Nawalparasi District, Nepal*. (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp. 17-35.

Franz, A. (2005). *A performance study of ceramic candle filters in Kenya inclunding tests for coliphage removal*. (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp. 38-76

Gadgil, A. (1998), *Drinking water in developing countries*. Vol. 23, pp. 250-287. Acedido em 15 de Dezembro de 2013 [disponível em: http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146%2Fannurev.energy.23.1.253]

Gomes, J. M. C.. (2011). *Contribuição para o estudo de sistemas de tratamento a adoptar em zonas economicamente desfavorecidas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária da Faculdade de Ciências e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa. Almada, pp 2-88

Guapindaia, V. L. C. (2008). *Além da margem do rio- a ocupação Konduri e Pocó na região de Porto Trombetas, PA.* Pós-graduação em arqueologia- Universidade de São Paulo, Brasil, pp. 81

Habert, A. (2006).*Processos de separação por membranas* (1ª ed.). Rio de Janeiro: E-papers.

Harris, J. (2005). *Challenges to the Commercial Viability of Point-of-Use (POU) Water Treatment Systems in Low-Income Settings*. Dissertação de Mestrado em Ciências Politicas e Gestão da Água da Faculdade de Geografia e Ambiente- Universidade de Oxford. Oxford, pp. 21-68

Hermes, L. C. e Pinto, N. O. (2006). *Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil.* Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa. São Paulo. Pp 7-14

Human Development Reports (2014). Acedido em 26 de Fevereiro de 2014. [disponível em: http://hdr.undp.org/en/countries

HYSTRA (2011). *Access to safe water for the BoP*. Hybrid stategies consulting. Acedido em 1 de Abril de 2014 [disponível em: http://static.squarespace.com/static/51bef39fe4b010d205f84a92/t/51f23b56e4b05adf4a8ee570/1374829398315/Access_to_Safe_Water_for_the_BoP_FULL_REPORT.pdf]

HYSTRA (2014) *Hybrid strategies consulting* [disponivel em: http:// http://hystra.com; consultado em Abril de 2014]

IBGE (2002). *Mapa de Clima do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acedido em 19 de Março de 2014. [disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/clima.pdf]

IBGE (2008). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acedido em 2 de Janeiro de 2014. [disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf]

IBGE (2012). *Mapa físico do estado de Mato Grosso*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acedido em 3 de Março de 2014. [disponível em: ftp:// geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/físico/unidades_federacao/mt_fisico.pdf]

IBGE (2012a). *Mapa físico do estado de Mato Grosso*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acedido em 17 de Março de 2014. [disponível em: ftp:// geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/físico/unidades_federacao/ap_fisico.pdf]

IBGE (2012b). *Mapa físico do estado de Mato Grosso*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acedido em 18 de Março de 2014. [disponível em: ftp:// geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/físico/unidades_federacao/pa_fisico.pdf]

IBGE (2013). *Mapa Estatal do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acedido em 19 de Março de 2014. [disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm]

IBGE. (2010). *Resultados do Universo- Caraterísticas da população e dos Domicílios*. Instituto Brasileira de Geografia e Estatística. Acedido em 3 de Janeiro de 2014. [disponível em: http:// cidades.ibge.gov.br]

Jain, M. (2009). *Status of Household Water Treatment and Safe Storage in 45 Countries and a Case Study in Northern India.* (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp 23-155

Júnior, A. A. C. (2012). *Caracterização geoambiental do rio Pirarí- Jacaraú- PB.* (Tese de Mestrado) Universidade Estadual da Paraíba.Brasil. pp. 20

Júnior, D. B. S. (2007). *Modelagem Computacional de incêndios e queimadas: um estudo de caso sobre a reserva biológica do lago piratuba- AP*. (Tese de Mestrado) Universidade Católica de Pernambuco, Brasil, pp 21

Kariuki, M. (2003). *Better water and sanitation for the urban poor.* Quénia: Water utility partnership for capacity building (WUP) Africa.

Kikkawa, I. (2008). *Modification of a biosand filter in the northern region of Ghana*. (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp. 36-75

Lamparelli , M. C. (2004) *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutoramento.

Lantagne, D. S. (2001) *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter - Report 1: Intrinsic Effectiveness*. Alethia Environmental. Allston, MA. Acedido em 17 de Abril de 2014 [disponível em: http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele%20Lantagne,%2012-01.pdf]

Lantagne, D. S. (2001a) *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter - Report 2: Field Investigation*. Alethia Environmental. Allston, MA. Acedido em 13 de Abril de 2014 [disponível em: http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele%20Lantagne,%2012-01.pdf]

Lantagne, D. S.; Quick, Robert; Mintz, Eric D. (2006*). Household water treatment and safe storage options in developing countries: a review of current implementation practices*. Woodrow Wilson Internation Center for Scholars pp.17-38. Acedido em 22 de Abril de 2014 [disponível em: http://www.wilsoncenter.org/publication/household-water-treatment-and-safe-storage-options-developing-countries-review-current]

Laurent, P. (2005). *Household drinking water systems and their impact on people with weakened immunity*. Public Health Department, Médecins sans Frontieres, pp. 10-39. Acedido em 19 de Abril de 2014 [disponível em: http://www.who.int/household_water/research/HWTS_impacts_on_weakened_immunity.pdf]

Lea, M. (2010). *Bioremediation of Turbid SurfaceWater Using Seed Extract from Moringa oleifera Lam. (Drumstick) Tree.* Current Protocols in Microbiology. Acedido em 2 de Março de 2014 [disponivel em: http://dx.doi.org/10.1002/9780471729259.mc01g02s16]

Letterman, R. (1999). *Water quality and treatment* (1ª ed.). New York: McGraw-Hill.

Loo, S.; Fane, A. G.; Krantz, W. B.; Lim, T. (2012). *Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria*. Water Research, Vol. 46. Pp 3125-3151. Acedido em 5 de Maio de 2014 [disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412001935]

MDS (2011). O perfil da Extrema Pobreza no Brasil com base nos dados preliminares do universo do censo 2010. Nota técnica. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e do Combate à Fome. Acedido em Março de 2014 [disponível em: www.mds.gov.br]

Mendes, B., & Santos Oliveira, J. F. (2004). *Qualidade da Água para consumo humano.* Lisboa: Lidel.

Moraes, B. C. de, *et al.* (2005*). Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará*. Acta Amazonica. Vol. 35(2) pp. 207-214. Acedido em 16 de Fevereiro de 2014 [disponível em: http://www.repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/3598]

Moss, M. & Moss, G. (2003/2004). *Projeto Brasil das Águas*.

Moss, M. (2013). Contacto Web Site- Brasil Das Aguas. [email].

Murphy, H. M.; McBean, E. A.; Farahbakhsh, K. *A critical evaluation of two point-of-use water treatment technologies: can they provide water that meets WHO drinking water guidelines?* Journal of Water and Health. Vol. 08 (4). Pp. 611-630. Acedido em 29 de Março de 2014 [disponível em: http://www.iwaponline.com/jwh/008/0611/0080611.pdf]

Neves, Iane Andrade (2007). *Conflitos Institucionais em empreendimento do setor elétrico: estudo de oito pequenas centrais hidrelétricas/PCHs na bacia hidrográfica do rio Juruena, no estado de Mato Grosso*. Pós-Graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental- Universidade Católica de Brasília, Brasília pp. 29

Oliveira, M. J. de (2010). *Mineração e Desenvolvimento local: Benefícios e desafios aos municípios amapaenses*. Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos- Universidade Federal do Pará, Belém, pp 28

Paterniani, J. E. S.; Mantovani, M. C. e Sant'Anna R. (2009). *Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol.13 (6). Pp. 765-771. Acedido em 10 de Março de 2014 [disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a15.pdf]

Peter-Varbanetsa, M. *et al*. (2009). *Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology*. Water Research. Vol. 43. pp. 245-265. Acedido em 23 de Abril de 2014 [disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408004983]

PNUD (2006). *Relatório do Desenvolvimento Humano*. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Acedido em 16 de Fevereiro de 2014 [disponível em: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2006_portuguese_summary.pdf]

Portaria nº2914 de 12 Dezembro de 2011. Ministério de Estado da Saúde.

Potters For Peace (2014). *Potters For Peace| Our Common Language is clay*. Acedido em 14 de Abril de 2014 [disponível em: www.pottersforpeace.com/]

Rangel, M.S.A (1999). *Moringa Oleifera: Uma planta de uso múltiplo*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.

Rebouças, A. da C. (2003). Água no Brasil: Abundância, desperdício e escassez. Bahia Análise & Dados, vol.13, pp. 341-345. Acedido em 21 de Fevereiro de 2014 [disponível em: http://www.icb.ufmg.br/labs/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/Minicurso/pag_341.pdf]

Richter, C., & Netto, J. M. (1991). *Tratamento de água1*. São Paulo: Edgar Blucher Ltda.

Rocha, S. (2006). Pobreza e indigência no Brasil: algumas evidências empíricas com base na PNAD 2004. *Nova Economia*, vol.*16* (2), pp. 265-299. Acedido em 18 de Fevereiro de 2014 [disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512006000200003&lng=en&tlng=pt. 10.1590/S0103-63512006000200003]

Sánchez-Martín, J.; Beltrán-Heredia, J.; Peres, J.A. (2012). *Improvement of the flocculation process in water treatment by using Moringa Oleifera seeds extract.* Revista Brasileira de Engenharia Química. Vol.29 (3). Pp. 495-501. Acedido em 30 de Abril de 2014 [disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322012000300006]

Schäfer, A. I.; Broeckmann, A. e Richards, B. S. (2005). *Membranes and Renewable Energy – A new Era of Sustainable Development for Developing Countries*. Membrane Technology. Pp.6-10. Acedido em 1 de Março de 2014 [disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/s0958-2118(05)70569-3]

Shehata, S. A.; Ali, Gamilla H. e Wahba, S. Z. (2008). *Distribution Pattern of Nile Water Algae with Reference to its Treatability in Drinking Water*. Journal of Applied Sciences. Vol.4 (6). Pp. 722-730. Acedido em 6 de Março de 2014 [disponível em: http://www.researchgate.net/publication/228483545_Distribution_pattern_of_Nile_Water_Algae_with_reference_to_its_treatability_in_drinking_water]

Silva, A. R. F. da (2011). *Prespectivas das políticas territoriais na faixa da fronteira internacional da Amazônia Oriental Brasileira: Estados do Pará e do Amapá*. Pós-Graduação em Geografica. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas- Universidade Federal do Pará, Belém, pp 86

SNIS (2012). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Acedido em 23 de Março de 2014 [disponível em: http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=103]

Sobsey, M. D. (2002). *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. Water, Sanitation and Health. Department of Protection of the Human Environment, World Health Organization, Geneva, pp. 1-70. Acedido em 2 de Janeiro de 2014 [disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/en/]

Sobsey, M. D.; Stauber, C. E.; Casanova, Lisa M.; Brown, J. M. e Elliott, M. A. (2008). *Point of use household drinking water filtration: a practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world*. Environmental Science & Technology. Vol.42 (12), pp. 4261–4267. Acedido em 12 de Janeiro de 2014 [disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18605542]

Sousa, P. J. P. G. de (2013). *Remoção de Arsénio por Compostos de Ferro e por Ferro Nanoparticulado*. Dissertação em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia- Universidade do Porto. Porto, pp 11-22

Stevenson, D.G. (1997). *Water treatment Unit Processes* (1ªedição). London: Imperial College Press.

Tabbal, G. (2003). *Techincal and social evaluation of three arsenic-removal technlogies in nepal*. (Tese de mestrado). Massachusetts Institute of Technology, USA. pp.33-54

Twort, A., Ratnayaka, D., & Brandt, M. (2000). *Water supply* (5ªedição). London: Arnold and IWA Pub.

Veolia Environment- Página oficial (2014). Veolia Water Technologies. Acedido em 4 de Junho de 2014 [disponível em: http://www.veoliawatertechnologies.com/en/]

Vestergaard (2014). Vestergaard Frandsen. Acedido em 7 de Março de 2014 [disponivel em: http:// http://www.vestergaard.com/lifestraw-family-1-0]

Wacka, N.D. T. (2009). *Selection guide of simple drinking water treatment technologies for small communities in developing countries*. Programa International de Licenciatura em Ciências Ambientais- Universidade de Saxion de Ciências aplicadas, Deventer. Pp.19-57

White, G. C. (2010).*White's handbook of chlorination and alternative disinfectants* (1st ed.). Hoboken, N.J.: Wiley.

WHO (2008). *Water Quality Interventions to Prevent Diarrhoea: Cost and Cost-Effectiveness*. World Health Organization - Water Sanitation and Health. Acedido em7 de Maio de 2014 [disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/economic/prevent_diarrhoea.pdf]

WHO (2012). *Considerations for Policy Development and Scaling-Up Household Water Treatment and Safe Storage with Communicable Disease Prevention Efforts*. World Health Organization - Water Sanitation and Health. Acedido em 9 de Fevereiro de 2014 [disponível em: http://www.who.int/household_water/resources/Report_DiscussionsonHWTSIntegration_Health_Final.pdf]

WHO (2013). *Progress on Sanitation and Drinking Water. 2013 Update*. New York/Geneva: United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF)/World Health Organization (WHO). Acedido em 9 de Fevereiro de 2014 [disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/81245/1/9789241505390_eng.pdf]

WHO (2014). *Household water treatment and safe storage*. Acedido em 3 de Fevereiro de 2014 [disponível em: www.who.int/household_water/en/

WMO (1997). *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. World Metereological Organization. Acedido em 12 de Fevereiro de 2014. [disponível em: http://www.ircwash.org/sites/default/files/210-97CO-14041.pdf]

Yongabi, K. A. (2010). *Biocoagulants for Water and Waste Water Purification: a Review*. International Review of Chemical Engineering- Rapid Communicati. Vol.2 (3) pp.444-458. Acedido em 15 de Janeiro de 2014 [disponível em: http://www.hristov.com/jordan/pdfs/Biocoagulants%20for%20Water%20and%20Waste%20Water%20Purification.pdf]

# ANEXOS

A. MAPA REPRESENTATIVO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DOCES NO BRASIL

**ÁGUAS NATURAIS**

- **Teores moderados de Azoto e Fósforo de Origem Natural**
- **Águas com baixo a moderado impacto**

**ÁGUAS COM IMPACTO DE ORIGEM ANTROPOGÉNICA**

- **Origem Agrícola**
- **Elevado impacto humano**